

Modelização em 3D do Castelo de Penela, estudo e cálculo Luminotécnico com recurso à ferramenta computacional Dialux EVO

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Eletromecânica - Especialização em Equipamentos em Edifícios

Autor

Miguel de Sousa Pedrosa

Orientador

Doutora Cristina Isabel Figueiras Faustino Agreira

Professora do Departamento de Eletrotécnica

Doutor Manuel Maria Abranches Travassos Valdez

Professor do Departamento de Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Março, 2018

AGRADECIMENTOS

Ao encerrar o percurso universitário na minha vida, não poderia deixar de agradecer às pessoas que disponibilizaram o seu tempo e paciência para me ajudarem e aconselharem a encerrar este trajeto.

Começo por agradecer ao Instituto Politécnico de Coimbra /Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica pela possibilidade e apoio na realização desta tese.

Aos meus orientadores, Doutora Cristina Isabel Ferreira Figueiras Faustino Agreira e ao Doutor Manuel Maria Abranches Travassos Valdez, por toda a simpatia mostrada, paciência e sobretudo pela disponibilidade para me orientarem nestes longos meses.

À Câmara Municipal de Penela e à coordenadora técnica da Rede de Castelos e Muralhas do Mondego, Dra. Ivânia Monteiro, pela disponibilidade mostrada nos momentos de visita ao Castelo bem como na resposta a questões colocadas.

À marca de luminárias SCHRÉDER e ao engenheiro André Moutinho pelas ideias e conselhos mostrados na realização do projeto mas também pela rápida resposta e fornecimento de orçamentos.

Ao meu amigo Afonso Cabral mestrando em Arquitetura, que me ajudou na realização da planta 2D do Castelo de Penela e no apoio prestado.

À minha colega Tânia Reguengo, por toda ajuda prestada e pelas tardes de trabalho que passámos em conjunto, no apoio ao projeto.

Acentuo os meus agradecimentos ao José Gomes, estudante de Engenharia Informática em Coimbra, que mostrou grande disponibilidade e entreaajuda que me permitiu finalizar este trabalho.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer aos meus pais e irmã, pelo apoio que me deram durante todo o percurso universitário e na elaboração deste trabalho, por me terem educado e dado tudo o que poderiam dar mas também pelo companheirismo e entreaajuda que me permitiu evoluir profissionalmente de uma forma consistente.

A todos vós um muito Obrigado!!!

RESUMO

Em Portugal, a iluminação pública é responsável por 3% do consumo energético. A tendência é para aumentar (cerca de 4 a 5% por ano) o que representa custos muito elevados para os Municípios. Torna-se fundamental definir um conjunto de medidas direcionadas para o aumento da eficiência energética da iluminação pública sem que isso afete a qualidade de vida nos espaços públicos (ADENE a, 2017).

Pretende-se com este projeto apresentar uma solução luminotécnica para o interior do Castelo de Penela, dando particular importância à redução da fatura energética de modo a que não se perca a qualidade visual do monumento, nem a harmonia com o espaço envolvente. Para a realização deste projeto foi utilizado o *software* DIALuxEvo® de modo a representar em três dimensões o espaço em causa para posteriormente efetuar o estudo luminotécnico do mesmo.

Através da modelação efetuada realizou-se uma análise do atual sistema de iluminação do castelo, seguindo a norma europeia EN 12464-2. Os resultados luminotécnicos obtidos mostraram algum sobredimensionamento em determinadas zonas, bem como a falta de iluminação em certas vias de circulação. Após este estudo foram propostas novas medidas luminotécnicas, com tecnologias mais recentes e eficientes (Light Emitting Diode, LED), bem como a remodelação e complementação do sistema de iluminação atual. Pretende-se com estas medidas reduzir o consumo de energia elétrica e adaptar a iluminação às necessidades, apresentando assim, soluções mais viáveis, económicas e eficientes.

Em última análise é apresentado um estudo energético e económico das diferentes medidas propostas, para se estabelecer uma comparação com o sistema de iluminação atual, tendo sempre como foco a melhor eficiência energética e qualidade de iluminação.

As luminárias escolhidas deverão possuir um elevado nível de estanquicidade, de maneira a garantir uma maior eficiência da instalação e um maior tempo de vida útil. Devem ainda ser protegidas contra o vandalismo.

Palavras-chave: Eficiência Energética, Iluminação, DialuxEvo®, Castelo, Luminárias, LED

ABSTRACT

In Portugal, the public lighting is responsible for 3% of the energy consumption. The trend is to increase (about 4 to 5% per year) which represents very high costs for municipalities. It is essential to define a set of targeted measures to increase energy efficiency public lighting without affecting the quality of life in public spaces (ADENE a, 2017).

This project aims to introduce a lighting solution for the inside of the Penela's Castle, with particular importance on reducing the energy invoice without lost the harmony with the surrounding space and the visual quality of the monument. This project used the DIALuxEvo[®] software in order to represent three-dimensional space and simulate the existing lighting and the proposal.

The Castle lighting system was analysed according with the European standart EN 12464-2.

The lighting results obtained showed some oversizing in certain areas, and the lack of lighting in certain traffic routes. After this study, new lighting measures were proposed with latest technologies and efficient (LED), as well as the renovation and completion of the current lighting system. It is intended with these measures reduce the consumption of electric energy and adapt the lighting to the needs, presenting thus, more viable, economic and efficient solutions.

In the final analysis this project is an energy and economic study of the various proposed measures to establish a comparison with the current lighting system, focused on better energy efficiency and lighting quality.

The chosen luminaires should have a high level of sealing, in order to ensure greater efficiency of installation and a longer useful life. Must still be protected against vandalism.

Keywords: energy efficiency, lighting, DialuxEvo[®], Castle, lamps, LED

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xv
SIMBOLOGIA.....	xvii
ABREVIATURAS.....	xix

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Necessidade da Presente Investigação.....	1
1.3. Objetivos e Metodologia.....	2
1.4. Organização do Trabalho.....	2

CAPÍTULO 2 - CASTELO DE PENELA

2.1. Contextualização Histórica e Geográfica.....	5
2.2. Descrição e Localização Geográfica do Interior do Castelo.....	6
2.3. Conclusão.....	10

CAPÍTULO 3 - PRINCIPAIS PARÂMETROS E GRANDEZAS DE MEDIDA

3.1. Fontes de Luz.....	11
3.2. Legislação.....	11
3.3. Iluminação Exterior.....	12
3.4. Classes de Isolamento.....	13
3.5. Índices de Proteção.....	14
3.6. Índices de Proteção Contra Choque Mecânicos.....	15

CAPÍTULO 4 - ILUMINAÇÃO INTERIOR DO CASTELO DE PENELA

4.1. Lâmpadas e Luminárias Existentes Atualmente no Interior do Edifício.....	17
4.1.1 Luminária de Embelezamento do Castelejo.....	18
4.1.2 Luminárias dos Caminhos Pedestres e de Circulação.....	19
4.1.3 Luminárias do Sistema de Iluminação do Anfiteatro.....	21
4.2. Análise Energética do Interior do Edifício com a Iluminação Atual.....	23
4.3. Simulação da Iluminação Atual com recurso ao DialuxEvo®.....	27
4.3.1 Castelejo e espaço circundante.....	29
4.3.2 Caminhos Pedestres e de Circulação.....	31

4.3.3 Espaço do Anfiteatro.....	35
4.4. Conclusão.....	38

CAPÍTULO 5 – Casos de Estudo

5.1.Cenário 1: Novo Sistema de Iluminação com LED - SCHREDER.....	39
5.1.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas.....	40
5.1.1.1 Ramal dos Caminhos de Circulação.....	40
5.1.1.2 Ramal do Castelejo.....	43
5.1.1.3 Ramal da Igreja Paroquial.....	45
5.1.1.4 Ramal do Anfiteatro.....	46
5.1.2 Dimensionamento dos novos Circuitos de Iluminação.....	47
5.1.2.1 Ramal da Igreja Paroquial.....	48
5.1.2.2 Ramal do Anfiteatro.....	49
5.1.2.3 Ramal do Castelejo.....	50
5.1.2.4 Ramal dos Caminhos de Circulação	51
5.1.3 Análise Energética e Económica.....	52
5.1.4 Simulação do Cenário 1 com recurso ao DialuxEvo® (DialuxEvo7, 2017)	54
5.1.4.1 Castelejo e espaço circundante.....	56
5.1.4.2 Igreja Paroquial e espaço circundante.....	59
5.1.4.3 Caminhos Pedestres e de Circulação.....	61
5.1.4.4 Espaço do Anfiteatro.....	65
5.2.Cenário 2: Novo Sistema de Iluminação com LED - diferentes fabricantes.....	66
5.2.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas.....	67
5.2.2 Análise Energética e Económica.....	68
5.3.Cenário 3: Iluminação LED com os pontos de luz existentes - SCHREDER.....	70
5.3.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas.....	71
5.3.1.1 Ramal dos Caminhos de Circulação.....	71
5.3.1.2 Ramal do Castelejo.....	71
5.3.1.3 Ramal do Anfiteatro.....	71
5.3.2 Dimensionamento dos novos Circuitos de Iluminação.....	72
5.3.2.1 Ramal do Anfiteatro.....	72
5.3.2.2 Ramal do Castelejo.....	73
5.3.2.3 Ramal dos Caminhos de Circulação	74
5.3.3 Análise Energética e Económica.....	75
5.3.4 Simulação do Cenário 3 com recurso ao DialuxEvo® (DialuxEvo7, 2017)	77
5.3.4.1 Espaço do Anfiteatro.....	79
5.3.4.2 Castelejo e espaço circundante.....	80
5.3.4.3 Caminhos Pedestres e de Circulação.....	83
5.4.Cenário 4: Iluminação LED com os pontos de luz existentes - diferentes fabricantes.....	86
5.4.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas.....	86
5.4.2 Análise Energética e Económica.....	88
5.5. Comparação dos Cenários Propostos com a Iluminação Atual	89
5.6. Conclusão.....	91

CAPÍTULO 6 – Conclusão

6.1. Síntese do Trabalho e Conclusões Gerais.....	93
6.2. Trabalhos Futuros.....	94

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Planta geral do Interior do Castelo de Penela.....	5
Figura 2.2. Fachada Oeste do Castelo de Penela, virado para a vila.....	6
Figura 2.3. Vista aérea do Castelo com vista para o lado poente.....	6
Figura 2.4. Anfiteatro do Castelo.....	7
Figura 2.5. Vista interior e exterior da Porta da Vila.....	7
Figura 2.6. Vista aérea do lado norte do Castelo.....	8
Figura 2.7. Vista norte do interior do Castelo e Porta da Traição.....	8
Figura 2.8. Vista interior do lado Este do Castelo.....	8
Figura 2.9. Vista geral do lado Sul do Castelejo.....	9
Figura 2.10. Vista Este e interior do Castelejo.....	9
Figura 2.11. Entrada Principal do Castelo.....	10
Figura 2.12. Vista geral do lado Sul do Castelo.....	10
Figura 4.1. Lâmpada da marca PHILIPS®, modelo MPI-TP 250 W.....	18
Figura 4.2. Luminária equivalente à atualmente instalada, modelo MVF617.....	19
Figura 4.3. Lâmpada da marca SCHRÉDER®, modelo PL-C 26 W.....	19
Figura 4.4. Luminária equivalente à atualmente instalada, modelo Bloco-R Direct.....	20
Figura 4.5. Lâmpada da marca SCHRÉDER®, modelo SON-T 70 W.....	20
Figura 4.6. Luminária equivalente à atualmente instalada, modelo SCHRÉDER® Neos1.....	21
Figura 4.7. Vista Oeste da Modelação 3D do Castelo de Penela.....	27
Figura 4.8. Vista aérea do Interior do Castelo de Penela, modelação 3D.....	27
Figura 4.9. Vista do interior e entrada do Castelejo.....	28
Figura 4.10. Vista geral da modelação do Castelejo, fachada Oeste.....	28
Figura 4.11. Planta com os Pontos de Iluminação atuais retirada do <i>Autocad</i>	29
Figura 4.12. Vista Norte do Castelo com a Simulação da Iluminação Atual, <i>DialuxEvo</i>	29
Figura 4.13. Iluminação atual do Castelejo, vista Oeste.....	30
Figura 4.14. Iluminação atual do Castelejo, vista Norte.....	30
Figura 4.15. Diagrama de cores falsas do Castelejo com a iluminação atual.....	31
Figura 4.16. Iluminação atual da rampa de entrada do Castelo.....	32
Figura 4.17. Diagrama de cores falsas da rampa de entrada do Castelo.....	32
Figura 4.18. Iluminação atual do caminho de circulação da Igreja.....	33
Figura 4.19. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do caminho de circulação da Igreja.....	33
Figura 4.20. Iluminação atual do espaço circundante da casa paroquial.....	34
Figura 4.21. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do espaço circundante da casa paroquial.....	34
Figura 4.22. Disposição atual das luminárias no espaço do Anfiteatro.....	35
Figura 4.23. Iluminação atual do espaço do Anfiteatro, zona Sul.....	36
Figura 4.24. Iluminação atual do espaço do Anfiteatro, vista aérea.....	36
Figura 4.25. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do espaço do Anfiteatro, zona Sul.....	37
Figura 4.26. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do espaço do Anfiteatro, vista aérea.....	37
Figura 5.1. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo TRASSO1.....	40
Figura 5.2. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo SCULPLINE2.....	41
Figura 5.3. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo ENYO.....	42
Figura 5.4. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo TERRA MIDI LED.....	43
Figura 5.5. Luminária proposta e feixe de luz para o Castelejo, Modelo SCULPFLOOD 150.....	43
Figura 5.6. Luminária proposta e feixe de luz para o Castelejo, Modelo SCULPFLOOD 60.....	44
Figura 5.7. Luminária proposta e feixe de luz para a Igreja, Modelo TRASSO1.....	45
Figura 5.8. Luminária proposta e feixe de luz para a Igreja paroquial, Modelo SCULPdot.....	45
Figura 5.9. Luminária proposta e feixe de luz para a Igreja paroquial, Modelo ENYO.....	46
Figura 5.10. Luminária proposta e feixe de luz para O Anfiteatro, Modelo TERRA MIDI LED.....	46
Figura 5.11. Luminária proposta e feixe de luz para o Anfiteatro, Modelo PONTO.....	47
Figura 5.12. Ilustração das canalizações do ramal da Igreja.....	48
Figura 5.13. Ilustração das canalizações do ramal do Anfiteatro.....	49

Figura 5.14. Ilustração das canalizações do ramal do Castelejo.....	50
Figura 5.15. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, contorno da Igreja.....	51
Figura 5.16. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, Porta da Traição e jardim paroquial.....	51
Figura 5.17. Consumos Mensais entre a iluminação Atual e o cenário 1.....	54
Figura 5.18. Vista Oeste da Simulação da Iluminação proposta do cenário 1.....	55
Figura 5.19. Vista Norte da Simulação da Iluminação proposta do cenário 1.....	55
Figura 5.20. Vista aérea da Simulação da Iluminação proposta do cenário 1.....	56
Figura 5.21. Detalhe de Instalação do pormenor do Castelejo.....	57
Figura 5.22. Simulação do cenário 1 no Castelejo, vista Sul.....	57
Figura 5.23. Simulação do cenário 1 no Castelejo, entrada do Castelejo.....	57
Figura 5.24. Simulação do cenário 1 no Castelejo, vista Este.....	58
Figura 5.25. Diagrama de cores Falsas da zona de passagem do Castelejo, cenário 1.....	58
Figura 5.26. Diagrama de cores Falsas das muralhas do Castelejo, cenário 1.....	59
Figura 5.27. Simulação do cenário 1 na Igreja Paroquial, vista frontal.....	59
Figura 5.28. Simulação do cenário 1 na Igreja Paroquial, vista do solo.....	60
Figura 5.29. Diagrama de cores Falsas da zona de circulação da Igreja Paroquial, cenário 1.....	60
Figura 5.30. Diagrama de cores Falsas da fachada da Igreja Paroquial, cenário 1.....	61
Figura 5.31. Simulação do cenário 1, entrada do Castelo.....	62
Figura 5.32. Diagrama de cores Falsas dos Caminhos de Circulação, entrada do Castelo cenário 1.....	62
Figura 5.33. Simulação do cenário 1, contorno da Igreja.....	62
Figura 5.34. Diagrama de cores Falsas dos caminhos de circulação, contorno da Igreja cenário 1.....	63
Figura 5.35. Simulação do cenário 1, caminhos de circulação zona Norte.....	63
Figura 5.36. Simulação do cenário 1, caminhos de circulação Porta da Traição.....	64
Figura 5.37. Diagrama de cores Falsas dos caminhos de circulação, zona Norte cenário 1.....	64
Figura 5.38. Simulação do cenário 1, Anfiteatro vista aérea.....	65
Figura 5.39. Simulação do cenário 1, Anfiteatro vista lado Norte.....	65
Figura 5.40. Diagrama de cores Falsas do Anfiteatro, zona Norte cenário 1.....	66
Figura 5.41. Ilustração das canalizações do ramal do Anfiteatro, cenário 3.....	72
Figura 5.42. Ilustração das canalizações do ramal do Castelejo, cenário 3.....	73
Figura 5.43. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, contorno da Igreja cenário 3.....	74
Figura 5.44. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, Porta da Traição cenário 3.....	74
Figura 5.45. Consumos Mensais entre a Iluminação Atual e o cenário 3.....	76
Figura 5.46. Vista Norte da Simulação da Iluminação do cenário 3.....	78
Figura 5.47. Vista Aérea da Simulação da Iluminação do cenário 3.....	78
Figura 5.48. Simulação do cenário 3, Anfiteatro vista aérea.....	79
Figura 5.49. Simulação do cenário 3, Anfiteatro vista lado Norte.....	79
Figura 5.50. Diagrama de Cores Falsas do Anfiteatro, zona Norte cenário 3.....	80
Figura 5.51. Simulação do cenário 3 no Castelejo, vista Sul.....	81
Figura 5.52. Simulação do cenário 3 no Castelejo, entrada do Castelejo.....	81
Figura 5.53. Simulação do cenário 3 no Castelejo, vista Este.....	82
Figura 5.54. Diagrama de Cores Falsas da zona de passagem do Castelejo, cenário 3.....	82
Figura 5.55. Diagrama de Cores Falsas das muralhas do Castelejo, cenário 3.....	83
Figura 5.56. Simulação do cenário 3, caminhos de circulação entrada do Castelo.....	83
Figura 5.57. Diagrama de Cores Falsas dos caminhos de circulação cenário 3, entrada do Castelo.....	84
Figura 5.58. Simulação do cenário 3, Contorno da Igreja.....	84
Figura 5.59. Diagrama de Cores Falsas dos caminhos de circulação cenário 3, contorno da Igreja.....	85
Figura 5.60. Simulação do cenário 3, caminhos de circulação zona Norte.....	85
Figura 5.61. Diagrama de Cores Falsas dos caminhos de circulação cenário 3, zona Norte.....	86
Figura 5.62. Consumos Mensais entre a Iluminação Atual e dos cenários propostos.....	90

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1. Iluminâncias médias Recomendadas consoante o tipo de atividade segundo a norma EN 12464-2, 2006.....	12
Tabela 3.2. Índices de proteção, primeiro dígito.....	14
Tabela 3.3. Índices de proteção, segundo dígito.....	14
Tabela 3.4. Índices de proteção contra choques mecânicos.....	15
Tabela 4.1. Luminárias equivalentes às atualmente instaladas no espaço do Anfiteatro.....	22
Tabela 4.2. Consumo Mensal Real com a iluminação atual do interior do Castelo por tipo de Luminária.....	24
Tabela 4.3. Consumo Mensal Total com a iluminação atual do interior do Castelo por tipo de Luminária.....	25
Tabela 4.4. Valores Finais de Custos Anuais com o sistema de iluminação interior.....	26
Tabela 4.5. Funcionamento em horário de Inverno da Instalação atual.....	26
Tabela 4.6. Funcionamento em horário de Verão da Instalação atual.....	26
Tabela 5.1. Consumo Mensal do Interior do Castelo de Penela com o cenário 1 Schröder, por tipo de luminária...53	
Tabela 5.2. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entre a Iluminação Atual e o cenário 1.....	52
Tabela 5.3. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 1.....	53
Tabela 5.4. Fabricantes e Luminárias selecionadas para o cenário 2.....	67
Tabela 5.5. Consumo Mensal do Interior do Castelo com o cenário 2 de diferentes fabricantes, por tipo de luminária.....	69
Tabela 5.6. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entre a Iluminação Atual e o cenário 2.....	70
Tabela 5.7. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 2.....	70
Tabela 5.8. Consumo Mensal do Interior do Castelo de Penela com o cenário 3 Schröder, por tipo de luminária...75	
Tabela 5.9. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entre a Iluminação Atual e o cenário 3.....	76
Tabela 5.10. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 3.....	77
Tabela 5.11. Fabricantes e Luminárias selecionadas para o cenário 4.....	87
Tabela 5.12. Consumo Mensal do Interior do Castelo com o cenário 4 de diferentes fabricantes, por tipo de luminária.....	89
Tabela 5.13. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entre a Iluminação Atual e o cenário 4.....	88
Tabela 5.14. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 4.....	88
Tabela 5.15. Tabela de comparação dos indicadores energéticos e económicos dos Cenários Propostos.....	90

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1. Custo Anual de Energia Ativa Consumida.....	23
Equação 4.2. Custo Anual de Faturação.....	23
Equação 4.3. Consumo Mensal por luminária.....	23
Equação 5.1. Potência Aparente consumida por ramal.....	48
Equação 5.2. Corrente de Serviço que passa no ramal.....	48
Equação 5.3. Valor Atual Liquidado de cada Cenário.....	90
Equação 5.4. Taxa Interna de Retorno do Investimento de cada cenário.....	90

SIMBOLOGIA

I_s – Corrente de Serviço [A]

Φ – Diâmetro [mm]

ϕ - Fluxo Luminoso [lm]

f – Frequência [Hz]

E_m – Iluminância Mínima (lux)

GR_L – Índice máximo de encadeamento, CIE Glare Rating

R_a - Índice de Restituição de cores, mínimo (ou IRC)

U_0 – Índice de Uniformidade Geral

P – Potência Instalada [W]

S – Potência Aparente [VA]

® - Registo Comercial

η – Rendimento

Σ – Somatório

U – Tensão [V]

U_s – Tensão simples [V], 230 V para monofásico

ABREVIATURAS

2D – Duas Dimensões

3D – Três Dimensões

BTN – Baixa Tensão Normal

BTE – Baixa Tensão Especial

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CMP – Câmara Municipal de Penela

CO₂ – Dióxido de Carbono

Eco.AP – Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública

EDP – Eletricidade de Portugal

EN – Norma Europeia

FP – Fator de Potência

IK – Índice de Proteção contra choques mecânicos externos

IP – Índice de Proteção

LED – Light Emitting Diode

LENI – Lighting Energy Numeric Indicator

PNAEE - Plano Nacional para a Eficiência Energética

PVC – Policloreto de vinilo

RGB – Red Green and Blue (reprodução de cores em dispositivos eletrónicos)

RTIEBT – Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão

Séc. – Século

TIR – Taxa Interna de Retorno

VAL – Valor Atual Líquido

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

No século XXI o consumo de energia aumentou drasticamente tornando-se prioritário à escala global a necessidade de reduzir consumos. Deste modo, cada país tem a obrigação de desenvolver estratégias energéticas que cumpram as metas estipuladas a nível global. A política energética a nível nacional assenta essencialmente em dois pilares: a racionalidade económica e a sustentabilidade, promovendo assim medidas de eficiência energética como a utilização cada vez mais frequente de energias renováveis de modo a reduzir custos (ADENE, 2017).

De acordo com a atual política energética nacional, que estipulou medidas e objetivos para todo o país, foram desenvolvidos programas e planos energéticos de modo a satisfazer essas metas, dos quais se destacam o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Programa de Eficiência Energética para a Administração Pública (Eco.AP), que são de interesse ao projeto (ADENE, 2017).

A iluminação pública em Portugal representa cerca de 3% do consumo total de energia elétrica, sendo que em alguns municípios os gastos com iluminação pública ultrapassam 50 % do valor de energia consumida (ADENE, 2017). Torna-se assim evidente e prioritário melhorar a eficiência destes sistemas. As luminárias e lâmpadas outrora escolhidas têm vindo a ser substituídas por tecnologias mais recentes e eficientes, com menores custos de manutenção e que permitem uma melhor gestão e consequente redução de consumos – no domínio da iluminação é exemplo elucidativo o crescente recurso à tecnologia LED.

Outro dos aspetos que propulsionou este progresso foi a preocupação com o conforto dos utilizadores dos edifícios públicos. Uma iluminação obsoleta ou em más condições de manutenção tende a prejudicar o desempenho das pessoas nas suas tarefas e no seu bem-estar, podendo provocar desconforto ao utilizador.

Este projeto surge também pelo facto do Castelo de Penela estar deficientemente iluminado no seu interior e pela necessidade de ser iluminado de forma a atrair mais turistas à vila de Penela bem como nas visitas ao Castelo.

1.2. Necessidade da Presente Investigação

Tendo em consideração a atual preocupação com a poupança dos recursos energéticos e sendo o Castelo de Penela um Monumento Nacional de algum consumo energético, surge então a necessidade de ser feita uma análise à instalação da iluminação do interior do edifício.

Este projeto insere-se numa parceria com a Câmara Municipal de Penela (CMP) que, nesse sentido, está interessada na redução de consumos energéticos e, ao mesmo tempo, dotar o edifício com tecnologias de iluminação que garantam uma boa qualidade da mesma e que traga mais afluência a esta vila.

A escolha do local recaiu sobre o facto do Castelo de Penela ser um ponto de atração turística e também devido ao défice de iluminação existente durante o período da noite. Por outro lado,

se a iluminação realçar a beleza do Castelo irá despertar a atenção das pessoas, aumentando assim a afluência das visitas ao Castelo de Penela.

Pretende-se que este projeto seja inovador e atual, que proporcione uma iluminação sustentável e que implique menores custos de manutenção e de consumo de energia.

1.3. Objetivos e Metodologia

O presente trabalho assenta essencialmente em três objetivos:

- Poupança na fatura energética;
- Redução de consumo de energia;
- Melhoria das condições de iluminação no interior do Castelo de Penela.

Como a decisão final recai sobre os responsáveis pelo espaço, podendo estes decidir sobre qual a aplicação e escolha da tecnologia, alguns destes objetivos podem não ser atingidos.

Numa primeira fase foi necessário efetuar o desenho em duas dimensões (2D) da planta do Castelo, para auxiliar na modelação a três dimensões (3D), pois não existia nenhum ficheiro deste tipo, apenas uma fotografia da planta.

Após a modelação 3D do Castelo estar concluída iniciou-se a fase seguinte do projeto relativa à iluminação atualmente em funcionamento no edifício. Devido ao facto da manutenção das luminárias presentes não ser a mais correta, optou-se por fazer o levantamento das mesmas, através dos valores reais lidos no local em lux com um luxímetro para posteriormente serem analisados e escolhidas as luminárias mais corretas. Foi feita, ainda, uma análise energética e dos custos relativos ao esquema de iluminação presente no interior do edifício.

Numa terceira fase foram apresentadas soluções alternativas à iluminação existente, seguindo os requisitos impostos pela legislação atual, com especial preocupação na eficiência energética do sistema, custos de manutenção e qualidade de iluminação do interior do Castelo de Penela.

Por último, é feita uma análise comparativa das medidas propostas e também uma análise económica, com o respetivo orçamento e custos de manutenção.

1.4. Organização do Trabalho

O trabalho é iniciado com uma pequena introdução no capítulo um.

No capítulo dois é apresentada uma pequena história do Castelo de Penela e ainda a sua descrição e localização geográfica.

O capítulo três aborda conceitos sobre parâmetros e grandezas de medida a considerar quando se elabora um projeto ou um estudo luminotécnico exterior.

No quarto capítulo faz-se a caracterização do sistema de iluminação atualmente existente no edifício e é feita uma análise energética dos resultados obtidos da simulação com recurso ao *software* DialuxEvo®.

No capítulo cinco são apresentados os casos de estudo e as diferentes medidas de melhoria propostas e a respetiva análise técnico-económica para a melhoria da eficiência energética do sistema de iluminação.

No capítulo seis são apresentadas sugestões, bem como as conclusões gerais do projeto e propostas futuras.

2. CASTELO DE PENELA

2.1. Contextualização Histórica e Geográfica

“A ocupação militar deste outeiro é muito antiga, remontando ao tempo dos Romanos, que daqui vigiavam a estrada Mérida-Conímbriga-Braga. Invasida pelos Árabes em 716, foi depois retomada no séc. XI pelo Conde D. Sesnando, primeiro governador de Coimbra. O conde mandou erigir no local da alcáçova um forte castelo, que repovoou, nascendo assim um burgo cristão sob a proteção das muralhas ameiadas. Deste povoamento subsistem as sepulturas escavadas na rocha de desenho antropomórfico” (CMP, 2017). A Figura 2.1 ilustra a planta atual e geral do Castelo de Penela em 2D.



Figura 2.1. Planta geral do Interior do Castelo de Penela (CMP, 2017)

“O castelo de Penela é uma fortaleza medieval de planta irregular e recorte sinuoso, alongada no sentido Norte-Sul aproveitando o escarpado natural, pelo que os panos de muralha têm altura que varia entre 7 e 19 metros. Pertencia à linha defensiva do Mondego na época da reconquista cristã, seguindo-se ao castelo de Montemor-o-Velho em ordem de grandeza. Na cerca de muralhas, que envolvia a vila medieval com as suas casas, ruas e igreja, rasgam-se as duas portas existentes. A Porta da Vila ou do Cruzeiro (séc. XV), de arco pleno e a Porta da Traição para acesso aos campos. A brecha das desaparecidas constitui hoje a entrada mais franca na fortaleza aqui se abria a terceira porta, virada a sul, guardada pela torre quinária, e que ligava o arrabalde mais diretamente à igreja. Nas zonas mais expostas foram levantadas as torres que permitiam a defesa cruzada das quadrilhas (pano de muralha entre as torres) e das portas. Das doze torres que existiram até ao séc. XVIII subsistem algumas com formas arredondadas e quadrangulares, para além da quinária” (CMP, 2017).

“A torre de menagem, hoje desaparecida, datava de 1300 e erguia-se no castelejo, núcleo defensivo primitivo, que foi reedificado no séc. XV-XVI. As lutas contra os Mouros e a passagem dos séculos tornou necessária a sucessiva ampliação e restauro do castelo, prolongando a sua (re) construção do séc. XI ao XVI por iniciativa de vários reis, designadamente, D. Afonso Henriques, D. Sancho I, D. Dinis, D. Fernando” (CMP, 2017).

“A perda da importância defensiva deste castelo levou a que a sua manutenção fosse descuidada e que a população comesçasse a utilizar as pedras noutras construções, ficando esta fortaleza

cada vez mais danificada. Foi restaurada nos anos de 1940 as muralhas e as ameias caldas foram refeitas segundo o ainda existente, e desmanteladas as casas entretanto encostadas às muralhas” (CMP, 2017).

2.2. Descrição e Localização Geográfica do Interior do Castelo

Um dos problemas na execução deste projeto foi inicialmente não existir uma planta 2D do edifício em formato de Computer Aided Design (CAD), o que obrigou a um demorado e meticuloso trabalho para a realização da mesma (Autocad, 2016).

O atual edifício do interior do Castelo de Penela é constituído essencialmente por 4 fachadas com altitudes diferentes, pelos caminhos de circulação à volta das muralhas e ainda pelo Castelejo virado a Este. A Figura 2.2 ilustra o lado poente do castelo e a Figura 2.3 a vista aérea desse plano.



Figura 2.2 Fachada Oeste do Castelo de Penela, virado para a vila (Google a, 2017)



Figura 2.3. Vista aérea do Castelo com vista para o lado poente (Google b, 2017)

Na zona poente (Oeste) existe, essencialmente, um pavimento em calçada com diversas árvores que serve como anfiteatro do castelo, onde são elaboradas inúmeras atividades durante todo o ano. O espaço circundante é constituído pelas muralhas de pedra com cor escura e por um muro em pedra, como é possível observar na Figura 2.4.



Figura 2.4. Anfiteatro do Castelo (Google c, 2017)

Nesta zona existe, ainda, a porta da Vila, uma das três entradas do edifício, situada no lado da vila de Penela e serve como rampa de acesso à casa paroquial do Castelo. O pavimento é constituído também por calçada e gravilha e algumas árvores. O espaço circundante é composto pelas muralhas de pedra de cor escura, como é possível observar na Figura 2.5.



Figura 2.5. Vista interior e exterior da Porta da Vila (foto do autor, 2017)

Na segunda zona, lado Norte, as muralhas encontram-se praticamente ao nível do solo, este espaço é constituído por um jardim com florestação, como ilustrado na Figura 2.6, pela casa paroquial, museu e caminho de circulação com ligação à Porta da Traição (Figura 2.7). O pavimento é praticamente todo de gravilha à exceção do caminho de circulação composto por calçada. Neste local existem umas escadas de acesso à igreja de pavimento acinzentado claro e um morro de terra composto por rochas relva e árvores.



Figura 2.6. Vista aérea do lado Norte do Castelo (Google d, 2017)



Figura 2.7. Vista norte do interior do Castelo e Porta da Traição (foto do autor, 2017)

No lado Este existe a parte de trás da igreja com pavimento inclinado em pedra de cor creme e relvado. Neste local está uma rocha de grandes dimensões junto da muralha. Este lado da muralha é bastante húmido estando as rochas praticamente cobertas por musgo, como é possível observar na Figura 2.8. A igreja situa-se num plano horizontal com um pavimento de pequenas pedras em tons de preto e branco.



Figura 2.8. Vista interior do lado Este do Castelo (foto do autor, 2017)

Nesta zona existe ainda o Castelejo uma das construções que mais sobressai no espaço em causa e representa também o local mais alto do Castelo. Esta torre ergue-se sobre um jardim constituído por um relvado e caminhos de acesso em pedra (Figura 2.9). O Castelejo é constituído por inúmeras texturas pois apresenta no seu interior vários tipos de rochas e pavimento (Figura 2.10). Todo este espaço é rodeado por uma muralha e com o respetivo caminho de circulação.



Figura 2.9. Vista geral do lado Sul do Castelejo (foto do autor, 2017)



Figura 2.10. Vista Este e interior do Castelejo (foto do autor, 2017)

Por fim, a zona Sul, que representa a entrada principal do Castelo, a Brecha das Desaparecidas. Este local é constituído por um grande portão cinzento, por um caminho em calçada com ligação à igreja e umas escadas em madeira de acesso a um jardim, como se ilustra na Figura 2.11. Neste jardim é possível observar duas catapultas históricas em madeira (Figura 2.12).



Figura 2.11 Entrada principal do Castelo (Google e, 2017)



Figura 2.12. Vista geral do lado Sul do Castelo (foto do autor, 2017)

2.3. Conclusão

Neste capítulo foi abordado de uma forma geral a História do Castelo de Penela e a sua importância na vila de Penela. Foram abordadas as várias épocas históricas e a influência direta que tiveram na construção do edifício até à presente data.

Foi também abordado neste capítulo a estrutura do interior do Castelo de Penela. Foi feita uma descrição das várias zonas do espaço tendo em conta todo o tipo de edificações presentes, bem como o tipo de texturas e características arquitetónicas, neste caso apenas das zonas interiores sendo esse o foco de interesse deste trabalho.

Esta análise é muito importante de modo a que o autor conheça cada detalhe do espaço em causa para posteriormente definir e caracterizar as zonas de interesse à iluminação, bem como aquelas a que se pretende dar destaque.

3. PRINCIPAIS PARÂMETROS E GRANDEZAS DE MEDIDA

Quando se realiza um estudo luminotécnico, quer seja interior ou exterior, é necessário que o responsável pelo projeto tenha conhecimentos de diversas grandezas de luminotecnica como: acuidade visual, fluxo luminoso, iluminância, temperatura de cor, índice de restituição de cores, luminância e potências. Para além destes, o projetista deve estar atualizado em relação aos tipos de lâmpadas, luminárias e respetivas armaduras disponíveis no mercado atual, bem como as que são de possível instalação no espaço, tendo em atenção o tipo de iluminação que se pretende e os custos de obra e manutenção (Raminhos, 2012).

Neste capítulo são abordados estes parâmetros sucintamente, mas de grande importância, quando se realiza um estudo luminotécnico deste tipo.

3.1. Fontes de Luz

As principais características que o projetista deve ter em conta na escolha das fontes de luz são: rendimento da luminária; tempo de vida da luminária/lâmpada; curva de distribuição luminosa; curva de ofuscamento; temperatura de cor; restituição de cores; tipo de refletor, difusor e balastro a utilizar e o tempo necessário a operar no fluxo nominal. A escolha da fonte de luz é essencial para a posterior escolha da luminária, tipo de controlo e questões de manutenção (Raminhos, 2012).

As lâmpadas mais económicas disponíveis atualmente são também as de maior custo inicial. No entanto os LED'S permitem reduzir o consumo e os custos de manutenção associados a outro tipo de lâmpadas em dois anos na maioria dos casos. São designados como a “forma leve da luz” e que podem substituir diretamente a maior parte dos tipos de lâmpadas. Esta tecnologia está em constante desenvolvimento pelo que se espera que o seu custo inicial baixe nos próximos anos (Geraldine, 2012).

Num projeto deste tipo deverão ser escolhidas lâmpadas que cumpram os requisitos de iluminação adequados ao local e armaduras adequadas às lâmpadas. Desta ligação depende grande parte da qualidade da iluminação, assim como da eficiência energética do sistema.

3.2. Legislação

“A legislação portuguesa em relação à vertente da iluminação é praticamente inexistente” (Almeida, 2010). A regulamentação vigente é reduzida e muito imprecisa.

Deste modo, as condições para a diminuição de potência a poder ser utilizada aproxima-se do método apresentado na norma europeia EN 15193, para as necessidades energéticas dos sistemas de iluminação artificial e cálculo de consumos energéticos dos mesmos, utilizando o índice LENI (*Lighting Energy Numeric Indicator*) que nos fornece a energia consumida em Quilowatt-hora (kWh) por metro quadrado por ano. A densidade de potência é diminuída em função de fatores relacionados com estratégias de controlo (Almeida, 2010).

O projetista deve ainda reger-se pelas normas europeias EN 12464-1 e EN 12464-2 para sistemas de iluminação artificial interiores e exteriores respetivamente, que são de adoção obrigatória em Portugal. Estas duas normas estabelecem valores de iluminância média ao nível do plano de trabalho em função das atividades desempenhadas no espaço, devendo ainda ser garantidos valores mínimos para os índices de uniformidade e de ofuscamento no plano de trabalho (EN 12464-2, 2007). Na Tabela 3.1 é possível observar alguns valores a serem utilizados no projeto.

Tabela 3.1. Iluminâncias médias Recomendadas consoante o tipo de atividade segundo EN 12464-2 2007

Nº referência	Tipo de área, tarefa ou atividade	\bar{E}_m lux	U_0 ---	GR_L ---	R_a ---	Observações
5.1.1	Caminhos Pedonais, exclusivo para pedestres	5	0,25	50	20	
5.1.2	Áreas de trânsito para veículos de lento movimento (max. 10 km/h) bicicletas, tratores e escavadoras	10	0,40	50	20	
5.1.3	Trânsito de veículos regulares (max. 40 km/h)	20	0,40	45	20	Em estaleiros e docas o GR_L poderá ser 50
5.1.4	Passagens pedestres, zonas de inversão de veículos, pontos de carga e descarga	50	0,40	50	20	

3.3. Iluminação Exterior

A iluminação exterior divide-se essencialmente em três categorias, como (Raminhos, 2013):

- Iluminação decorativa – iluminação de fachadas e monumentos;
- Iluminação de segurança – iluminação de túneis e aeroportos;
- Iluminação viária – iluminação de rua, zonas pedonais, jardins e estradas.

Para o estudo em causa é de interesse a iluminação decorativa e a iluminação viária nas zonas pedonais.

A iluminação da via deve permitir aos utilizadores ter uma perceção rápida e exata do espaço e dos obstáculos presentes, da movimentação de veículos e dos ocupantes, de forma a garantir a sua segurança. No fundo, proporcionar aos transeuntes uma deslocação de noite como se fosse de dia (Raminhos, 2013).

Com o crescimento do interesse em espaços cívicos, o papel da iluminação desses espaços é cada vez mais importante para as pessoas que os utilizam. Por um lado, existem as considerações práticas de segurança e necessidade de evitar a poluição luminosa. Por outro lado, as possibilidades criativas e a oportunidade de provocar uma resposta emocional surgindo assim o conceito de iluminação cénica (Schröder, 2017).

Este tipo de iluminação pode variar desde simplesmente criar um ambiente agradável do qual as pessoas gostam, até viajar na inspiração gerada por cenários que contam uma história sobre a arquitetura que revelam, proporcionando um sentimento de orgulho e pertença. Não

esquecendo que tudo isto deve ser alcançado de forma socialmente responsável e sustentável (Schröder, 2017).

A iluminação de monumentos em património nacional, como é o caso, deve intervir em três aspetos:

- Na sua imagem noturna – através do tipo de luz que é aplicada e da influência do ambiente luminoso em que se insere;
- Na sua imagem diurna – pode ser afetada pelo impacto do mobiliário de iluminação;
- Intervenção física sobre o edifício – fixação de luminárias a fachadas e abertura de roços para passagem de cabos.



A iluminação de um edifício tem como primeiro objetivo colocá-lo em evidência em relação ao seu enquadramento. No entanto, na iluminação de património deve-se valorizar o seu caráter único enquanto bem cultural, de modo a atrair a população. Pode ainda desempenhar um papel de economia local, ao atrair mais turistas. Deste modo, os projetos dirigidos ao património devem ter em conta o seu caráter único e respeitá-lo e os impactos da sua instalação devem ser reduzidos (Del-Negro e Diana, 2012)

“O projeto e equipamentos de iluminação poderão existir durante uma dezena de anos, até que seja necessária a sua substituição, mas património deve perdurar pelos séculos vindouros” (Del-Negro e Diana, 2012).

3.4. Classes de Isolamento

A classe de isolamento é usada para diferenciar os diferentes métodos/tipos de conexão entre a proteção do equipamento e a terra. Uma vez que se trata de um projeto de iluminação exterior é preciso ter bastante em conta este conceito. As seguintes classes apresentadas são estabelecidas segundo a *Philips lighting* (2017).

Os níveis são separados por 4 classes:

- **Classe O:** Não existem condutores de proteção fazendo a conexão entre a terra e as partes metálicas da luminária. A proteção contra choques elétricos é dada pelo próprio isolamento da luminária;
-  **Classe I:** Luminárias têm pelo menos um isolamento normal de conjunto e polo de terra, e para luminárias desenhadas para ligação com cabo flexível ou “chicote” previstas, pode ser com alimentação fêmea com polo de terra, ou com cabo flexível inseparável, ou “chicote” com condutor de terra e alimentação com contato de terra;
-  **Classe II:** Com duplo isolamento ou isolamento reforçado de conjunto sem polo de terra;



- **Classe III:** Desenho especial para ligação de circuitos de muito baixa tensão, sem outros circuitos internos ou externos que operem a outras tensões diferentes da mencionada.

3.5. Índices de Proteção

O Código de Índice de Proteção (IP) é definido por dois algarismos. O primeiro algarismo define a proteção contra corpos sólidos estranhos, enquanto o segundo algarismo define a proteção contra líquidos com efeito prejudiciais (*Philips lighting*, 2017). As Tabelas 3.2 e 3.3 descrevem o tipo de proteção do primeiro e segundo dígito respetivamente.

Tabela 3.2. Índices de proteção, primeiro dígito (*Philips Lighting a,2017*)

Primeiro Dígito	Descrição do tipo de proteção
0	Não protegida contra penetração de corpos sólidos
1	Protegida contra os corpos sólidos superiores a 50 mm
2	Protegida contra corpos sólidos superiores a 12 mm
3	Protegida contra corpos sólidos superiores a 2,5 mm
4	Protegida contra corpos sólidos superiores a 1,0 mm
5	Protegida contra o pó
6	Hermética ao pó

Tabela 3.3. Índices de proteção, segundo dígito (*Philips Lighting a,2017*)

Segundo Dígito	Descrição do tipo de proteção
0	Não protegida contra penetração de água
1	Protegida contra pingos de água verticais
2	Protegida contra pingos de água com uma inclinação máxima de 15°
3	Protegida contra chuva, até 30° da vertical
4	Protegida contra os salpicos
5	Protegida contra jatos de água à pressão
6	Protegida contra fortes Tempestades
7	Protegida contra os efeitos de imersão
8	Protegida contra o tempo

3.6. Índices de Proteção Contra Choque Mecânicos

É o grau de proteção de um invólucro para equipamentos elétricos, contra os impactos mecânicos em todas as suas faces de forma a proteger o seu conteúdo dos impactos externos (*Philips lighting*, 2017). Na Tabela 3.4 é feita a descrição dos números deste índice.

Tabela 3.4. Índices de proteção contra choques mecânicos (*Philips Lighting a, 2017*)

Proteção Contra Choques Mecânicos		
Código IK	Energia de Choque	Descrição
IK01	0,15 J	
IK02	0,2 J	<i>Standart</i>
IK03	0,3 J	
IK04	0,5 J	<i>Standart plus</i>
IK05	0,7 J	
IK06	1 J	
IK07	2 J	Reforçada
IK08	5 J	Protegida contra vandalismo
IK09	10 J	
IK10	20 J	Resistente ao vandalismo

Neste projeto, principalmente nas luminárias que se encontram ao nível do solo, é necessário um código de IK08, protegidas contra o vandalismo.

4. Iluminação do Interior do Castelo de Penela

Para o estudo luminotécnico do edifício procedeu-se ao levantamento do tipo de iluminação atualmente instalada no interior do Castelo, com várias visitas ao local acompanhadas de representantes do Castelo.

Uma vez que as proteções das luminárias se encontram num estado de degradação avançada e de elevada sujidade, dificilmente a intensidade luminosa da luminária corresponde à realidade na superfície de cálculo. Para além disso, não existe qualquer tipo de lista das luminárias instaladas nem das suas características técnicas, pelo que se optou por medir as iluminâncias (lux) das lâmpadas à noite em diversos pontos do Castelo, para posteriormente se efetuar a escolha da luminária atual e comparar com os resultados propostos.

Elaboraram-se folhas de cálculo para determinar: os gastos anuais com a iluminação pelos diversos tipos de lâmpadas, a energia total consumida de acordo com o horário de funcionamento da iluminação e a potência instalada, tendo sempre em conta o horário de Inverno e Verão.

Foi feito um projeto 3D do Castelo no programa DialuxEvo®, que é um *software* para cálculo luminotécnico e que permite utilizar luminárias de diversas marcas, dando uma maior liberdade de escolha. A modelação 3D do edifício foi uma das fases mais trabalhosas, para o qual foi necessário despendir uma grande quantidade de horas de trabalho, para a realização dos vários procedimentos.

Os procedimentos foram os seguintes:

- Reunião com os responsáveis para aquisição das plantas do projeto. Foi disponibilizada uma fotografia da planta pelo que foi necessário efetuar a planta 2D do Castelo em CAD;
- Várias visitas ao edifício de modo a fotografar as várias fachadas e todos os locais com mais pormenor e ainda retirar algumas medidas em falta de interesse ao projeto;
- Aplicação desses conhecimentos na realização do projeto em 3D tendo em conta o tamanho do edifício, as suas especificidades estruturais e objetos circundantes, bem como todo o tipo de texturas e matérias existentes. A realização deste procedimento é o mais moroso e sujeito a várias tentativas até se conseguir atingir a simulação mais próxima da realidade.

Posto isto procedeu-se à simulação da iluminação atual, conseguindo assim a obtenção de resultados gráficos, por forma a serem identificadas as zonas em que seria necessário alterar o tipo de iluminação e a complementação da mesma.

4.1. Lâmpadas e Luminárias Existentes Atualmente no Interior do Edifício

Nesta fase do projeto a escolha das luminárias e respetivas lâmpadas foi baseada numa análise das mesmas, com visitas ao local e dos resultados reais obtidos com as leituras do luxímetro, dando origem às luminárias/lâmpadas e suas características técnicas a seguir apresentadas. Este

método surgiu pelo facto das luminárias em vigor no Castelo apresentarem um elevado estado de degradação estando a maioria avariadas. No Anexo I é possível visualizar os valores reais lidos em lux na planta 2D do Castelo. No Anexo IV – Planta Nº 01 é ilustrado em planta 2D o sistema de iluminação atualmente em vigor no Castelo.

A iluminação do interior do castelo de Penela é constituída por dois sistemas de iluminação distintos e com horários de funcionamento diferentes. Distingue-se a iluminação do Anfiteatro, utilizada apenas aquando a realização de atividades noturnas no espaço e a restante iluminação referente à iluminação de caminhos pedestres e de veículos e ainda a iluminação de embelezamento em edificações.

De seguida são apresentadas as luminárias e lâmpadas escolhidas consoante a sua zona e tipo de aplicação.

4.1.1 Luminária de Embelezamento do Castelejo

Encontram-se instaladas quatro luminárias deste tipo no Castelejo estando apenas uma atualmente em funcionamento e mais uma luminária deste tipo na entrada do castelo. Utilizam lâmpadas de alta pressão de iodetos metálicos com consumo energético elevado, selecionadas a partir da marca PHILIPS®, modelo MVF617 C MPI – TP 250 W ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 4.1 e 4.2).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência da lâmpada: 250 W

Potência da luminária: 270 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 44,8 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 20.500 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 12.096 lm

Temperatura da cor: 4.045 K

Índice de restituição de cores: 98

Características físicas:

Tempo de vida útil: 14.000 h

Dimensões: 300 mm / 370 mm / 120 mm

Índices de Proteção: IP 66

Classe de Proteção: I



Figura 4.1. Lâmpada da marca PHILIPS®, modelo MPI - TP 250 W (Iluminação Philips, 2016)

Este tipo de lâmpadas caracteriza-se pela sua alta eficiência, distribuição uniforme de luz e muito boa reprodução de cores. O tempo de vida útil é consideravelmente longo. São de fácil instalação e manutenção. São habitualmente utilizadas na iluminação de edifícios e esculturas a que se pretende dar destaque mas também em parques e locais de alguma área.



Figura 4.2 Luminária equivalente à atualmente instalada, modelo MVF617 (Iluminação Philips,2016)

4.1.2 Luminárias dos Caminhos Pedestres e de Circulação

Encontram-se instaladas dois tipos de luminárias para a iluminação dos caminhos pedestres e de circulação sendo um dos tipos o menos adequado para esta função.

Como primeiro tipo de luminária, encontram-se um total de dezoito luminárias deste tipo instaladas estando apenas nove em bom funcionamento. São luminárias encastradas nas paredes direcionadas para o chão, utilizam lâmpadas fluorescentes compactas, da marca SCHRÉDER®, modelo BLOCO-R DIRECT / PL-C / 2P-26 W ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 4.3 e 4.4).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 26 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 23,4 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 1.800 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 608 lm

Temperatura da cor: 2.694 K

Índice de restituição de cores: 83

Características físicas:

Tempo de vida útil: 10.000 h



Figura 4.3. Lâmpada da marca Schröder®, modelo PL-C 26 W (Schröder, 2017)

Dimensões: 294 mm / 99 mm / 154 mm

Classe de Proteção: I

Índices de Proteção: IP66 IK10

Casquilho: E27

Este tipo de lâmpadas caracteriza-se por ser bastante económica e tempo de vida útil longo. São de fácil instalação e apresentam um bom *design*. São lâmpadas que servem para diversos tipos de aplicação quer em iluminação exterior e interior neste caso para a iluminação de caminhos pedonais.



Figura 4.4. Luminária equivalente à atualmente instalada modelo Bloco-R Direct (Schröder, 2017)

O outro tipo de luminária encontrada para a iluminação dos caminhos de passagem encontram-se na zona Este do castelo na parte de trás da igreja. Esta zona é composta por relvados e pavimento em terra e rocha pelo que uma iluminação ao nível do solo mostra ser uma solução mais indicada. As luminárias aqui encontradas apresentam potência elevada para a aplicação em questão e o método de iluminação não é o mais indicado. Foram selecionadas na marca SCHRÉDER®, luminárias com lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão com o modelo NEOS1 / 1809 / SON-T 70 W ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 4.5 e 4.6).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência ligação: 70 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 72,8 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 6.600 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 5.094 lm

Temperatura da cor: 4.100 K

Índice de restituição de cores: 98



Figura 4.5. Lâmpada da marca SCHRÉDER® modelo SON-T 70 W (Schröder, 2017)

Características Físicas:

Tempo de vida útil: 20.000 h

Dimensões: 320 mm / 110 mm / 360 mm

Classe de Proteção: I ou II

Índices de Proteção: IP66 IK08

Casquilho: E27

Este tipo de lâmpada caracteriza-se pela grande quantidade de luz que emite, tem fácil instalação e de uso frequente na iluminação de rua, não sendo a mais indicada para caminhos de circulação num interior de um Castelo onde não é necessário grande quantidade de luz.



Figura 4.6. Luminária equivalente à atualmente instalada, modelo SCHREDER® Neos1 (Schröder, 2017)

4.1.3 Luminárias do Sistema de Iluminação do Anfiteatro

Esta zona do Castelo encontra-se sobredimensionada a nível de potência e mal dimensionada devido aos pontos de luz encontrarem-se dispersos em três árvores, onde muita da luz que emitem é obstruída por ramos e folhas da própria árvore. Para além disto, o facto de se estar a lidar com potências de mais de 1.000 W instalados numa única árvore, leva a que a própria segurança dos utilizadores possa estar em causa.

Nesta fase optou-se por apresentar as luminárias na forma de um quadro (Tabela 4.1), devido a existirem diversos tipos de luminárias. Neste ponto foi possível retirar a olho nu as potências das luminárias instaladas, uma vez que estas dispunham do seu valor escrito na respetiva carcaça.

Estas luminárias apresentam grande quantidade de luz emitida e boa eficiência, no entanto, representam um elevado gasto de energia, sendo possível no mercado atual os mesmos resultados luminotécnicos com potências mais baixas.

Uma vez que este espaço apenas serve como ponto de passagem aos ocupantes, ou como plateia na época festiva do Presépio de Penela, não se justifica o consumo energético aqui presente bem como os níveis de iluminância média. As tecnologias atuais permitem um consumo muito mais reduzido e com os mesmos resultados práticos, melhorando ainda os índices de encadeamento.

Tabela 4.1 Luminárias equivalentes às atualmente instaladas no espaço do Anfiteatro

Marca/ dimensões/ índices de Proteção:	Nº Luminá- rias	Modelo e Lâmpada	P (W)	U (V) e f (Hz)	Φ Lâmpa- da (lm)	Φ Lumin- ária (lm)	η Lumi- nosso (lm/W)	T cor (K)	IRC	Vida útil (horas)
PHILIPS Lighting  400x478x 195 mm IP66 Class I	5	MVF617 C 1xHPI TP 250 W /645	270	230 e 50	20.500	12.096	44,8	4.200	60	14.000
SCHRÉDER  600x500x 160 mm IP66 IK08 Class I e II	3	NEOS 3 1709 1xSON-T 400 W E40	400	230 e 50	56.500	45.392	113,5	1.967	24	20.000
PHILIPS Lighting  486x389x 40 mm IP66 IK08	1	BVP130 1xLED120 4S/740 A	93	230 e 50	12.000	11.998	129,0	4.000	>70	50.000

4.2. Análise Energética do Interior do Edifício com a Iluminação Atual

O projeto inicialmente prevê o melhoramento e a restauração da iluminação do Castelo, fazendo o estudo das tecnologias apresentadas no próximo capítulo. Para isso é necessário, primeiramente, realizar uma análise energética das luminárias atualmente instaladas no espaço.

Como referido anteriormente, a iluminação do castelo divide-se em dois sistemas diferentes que por sua vez têm também horários de funcionamento diferentes. Esta informação foi fornecida pelos responsáveis da CMP.

O Sistema de iluminação referente aos trajetos pedonais e Castelejo funcionam em todos os dias do ano segundo os horários de Inverno e Verão, das 17h30 às 06h30 e 21h às 06h respetivamente.

A iluminação referente ao Anfiteatro, composta apenas por projetores de elevada potência, funciona cerca de cinquenta e cinco dias por ano quando existam atividades noturnas no seu interior. Quarenta dias dizem respeito ao Presépio de Penela, no mês de Dezembro e alguns dias no mês de Janeiro e ainda cerca de 15 dias no Verão no mês de Agosto.

Para a realização deste tipo de análise foi necessário a aplicação de equações a seguir apresentadas.

A atual instalação tem como base na sua faturação o tarifário Baixa Tensão Normal (BTN) - ciclo simples até 20,7 kVA sem ciclo horário e uma potência contratada de 13,8 kVA. Foram retirados do portal *online* da Eletricidade de Portugal (EDP), dentro do tarifário atual, os respetivos valores para o cálculo do consumo do sistema (EDP, 2017).

Custo anual total com o sistema de iluminação interior do Castelo:

$$\text{Energia Ativa Consumida} = \Sigma \text{Consumo mensal por tipo de luminária} * \text{Preço kWh} \quad (4.1)$$

$$\text{Custo anual total} = (\text{Energia Ativa consumida} + \text{Preço fixo de Potência contratada} + \text{Imposto de Consumo}) * 1.23 + \text{Taxa Audiovisual} * 1.06 \quad (4.2)$$

Consumo Mensal:

$$\text{Consumo mensal por tipo de luminárias} = n^{\circ} \text{dias} * P \text{ consumida (kW)} * n^{\circ} \text{horas} \quad (4.3)$$

De acordo com Equações 4.1, 4.2 e 4.3, obtiveram-se os seguintes valores da instalação atual (Tabelas 4.2 e 4.3). Foram calculados tanto o consumo com as luminárias todas ligadas (valor total) que vai ser o valor de comparação aos cenários propostos mas também o consumo real que toma um valor mais baixo devido a muitas das luminárias estarem avariadas.

Tabela 4.2. Consumo Mensal Real com a iluminação atual do interior do Castelo por tipo de luminária

Tipo de luminária	Consumo Mensal Real [kWh]												Consumo anual por tipo de luminária [kWh]	Custo anual por tipo de luminária [€]
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Philips MVF617 270 W	109	103	109	73	75	73	75	75	73	75	105	109	1.054	175
Schröder Bloco-R 26 W	95	88	95	63	65	63	65	65	63	65	91	95	913	151
Schröder NEOS1 70 W	56	53	56	38	39	38	39	39	38	39	55	56	546	91
Philips MVF617 270 W	158							182				544	884	147
Schröder NEOS3 400 W	140							162				484	786	130
Philips BVP130 93 W	11							13				37	61	10
Total													4.244	704

Os valores a reter encontram-se com a cor cor-de-laranja, que representam o consumo total em kWh da instalação ao longo do ano e o respetivo custo associado em euros. Na Tabela 4.2 estes valores representam apenas as luminárias atualmente em bom funcionamento, enquanto que na Tabela 4.3 os mesmo valores representam todas as luminárias instaladas no interior do Castelo de Penela.

Tabela 4.3. Consumo Mensal Total com a iluminação atual do interior do Castelo por tipo de Luminária

Tipo de luminária	Consumo Mensal Total [kWh]												Consumo anual por tipo de luminária [kWh]	Custo anual por tipo de luminária [€]
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Philips MVF617 270 W	435	408	435	292	301	292	301	301	292	301	421	435	4.214	700
Schröder Bloco-R 26 W	189	175	189	126	131	126	131	131	126	131	183	189	1.826	303
Schröder NEOS1 70 W	84	79	84	57	59	57	59	59	57	59	81	84	819	136
Philips MVF617 270 W	189							219				653	1.061	176
Schröder NEOS3 400 W	140							162				484	786	130
Philips BVP130 93 W	11							13				37	61	10
Total													8.767	1.455

A Tabela 4.4 é o resumo das outras duas, onde temos os custos de consumo anuais da instalação atual em termos de faturação (Equação 4.2). O valor real representa apenas os custos das luminárias atualmente em funcionamento e o valor total representa os custos de todas as luminárias do Castelo inclusive as que estão danificadas, valor este que vai ser comparado ao mesmo valor dos diferentes cenários propostos.

Tabela 4.4 Valores Finais de Custos Anuais com o sistema de iluminação Interior

Custo Anual Real	1.174,80 €
Custo Anual Total	2.103,40 €

O custo anual total reflete-se de acordo com a energia consumida pela instalação durante todo o ano, o valor a reter da Tabela 4.4 é 2.103,4 € de custos de faturação anuais, apenas com o sistema de iluminação interior do Castelo.

Encontram-se nas Tabelas 4.5 e 4.6 descritos os valores detalhados de funcionamento e quantidades de luminárias de acordo com os horários de Verão e Inverno.

Tabela 4.5. Funcionamento em horário de Inverno da Instalação atual

Horário de Inverno (17h30 às 6h30)	Nº Lâmpadas		Potência	Potência total		Horas p/dia
	TOTAL	REAL	[W]	[kW]		[h]
Tipo Luminária				TOTAL	REAL	
Philips MVF617 C HPI-TP 250 W	4	1	270	1.08	0.27	13
Schröder BLOCO-R 26 W	18	9	26	0.468	0.234	13
Schröder NEOS 1 70 W	3	2	70	0.21	0.14	13
Philips MVF617 C HPI-TP 250 W	6	5	270	1.62	1.35	13
Schröder NEOS 3 400 W	3	3	400	1.2	1.2	13
Philips BVP130 93 W	1	1	93	0.093	0.093	13
				4.671		

Tabela 4.6 Funcionamento em horário de Verão da Instalação atual

Horário de Verão (21h às 6h)	Nº Lâmpadas		Potência	Potência total		Horas p/dia
	TOTAL	REAL	[W]	[kW]		[h]
Tipo Luminária				TOTAL	REAL	
Philips MVF617 C HPI-TP 250 W	4	1	270	1.08	0.27	9
Schröder BLOCO-R PL-C 26 W	18	9	26	0.468	0.234	9
Schröder NEOS 1 SON-T 70 W	3	2	70	0.21	0.14	9
Philips MVF617 C HPI-TP 250 W	6	5	270	1.62	1.35	9
Schröder NEOS 3 SON-T 400 W	3	3	400	1.2	1.2	9
Philips BVP130 LED 93 W	1	1	93	0.093	0.093	9
				4.671		

Os valores a reter das Tabelas 4.5 e 4.6 encontram-se a cor-de-laranja, que representam a potência total instalada do sistema de iluminação interior do Castelo. Valor de comparação para os cenários propostos que diz respeito a todas as luminárias instaladas, mesmo aquelas que se encontram avariadas até ao momento.

4.3. Simulação da Iluminação Atual com recurso ao DialuxEvo®

Na presente secção é abordada a simulação e estudo luminotécnico do Castelo de Penela com a iluminação atual, utilizando a versão mais atual do DialuxEvo®, a versão DialuxEvo7 (DialuxEvo, 2017).

As Figuras 4.7, 4.8, 4.9 e 4.10 ilustram o resultado final da modelação 3D do Castelo de Penela. Na Figura 4.7 e 4.8 são apresentadas vistas gerais do Castelo.



Figura 4.7. Vista Oeste da Modelação 3D do Castelo de Penela



Figura 4.8 Vista aérea do Interior do Castelo de Penela, modelação 3D

O Castelejo encontra-se no plano mais elevado do interior do Castelo, é uma edificação que merece realce e destaque perante o seu enquadramento no espaço, na Figuras 4.9 é possível visualizar o espaço modelado do interior do Castelejo e da sua entrada. Na figura 4.10 é ilustrado exterior do Castelejo.



Figura 4.9. Vista do Interior e entrada do Castelejo



Figura 4.10. Vista geral da modelação do Castelejo, fachada Oeste

Nesta fase é apresentada a distribuição das luminárias existentes pelo espaço em estudo, a verde estão representadas as luminárias atualmente em funcionamento e com a cor preto são representadas as luminárias danificadas (Figura 4.11). A Figura 4.12 ilustra a simulação da iluminação atual, pelo que é de notar um grande défice de iluminação.

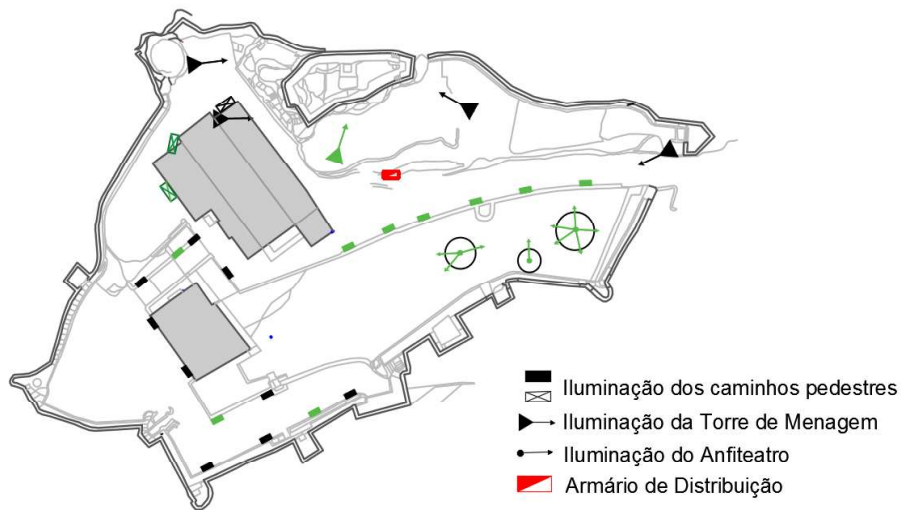


Figura 4.11. Planta com os Pontos de Iluminação atuais retirada do Autocad (Autocad, 2016)



Figura 4.12. Vista Norte do Castelo com a Simulação da Iluminação atual, DialuxEvo (DialuxEvo, 2017)

Através da análise da Figura 4.12, é notável o défice de iluminação no interior do Castelo uma vez que em diversos locais, essencialmente nas zonas Norte e Sul, não existe qualquer ponto de luz.

4.3.1 Castelejo e espaço circundante

Como ilustrado na Figura 4.11 o Castelejo na atualidade é apenas iluminado por uma luminária, pelo que o seu realce no Castelo passa praticamente despercebido. Esta é uma das construções que merece mais realce e ênfase no interior do Castelo, uma vez que se encontra a um nível superior. As Figuras 4.13 e 4.14 ilustram a iluminação atual do Castelejo e a Figura 4.15 o respetivo diagrama de cores falsas com a escala em lux.



Figura 4.13. Iluminação atual do Castelejo vista oeste (DialuxEvo 7)



Figura 4.14. Iluminação atual do Castelejo vista Norte (DialuxEvo 7)

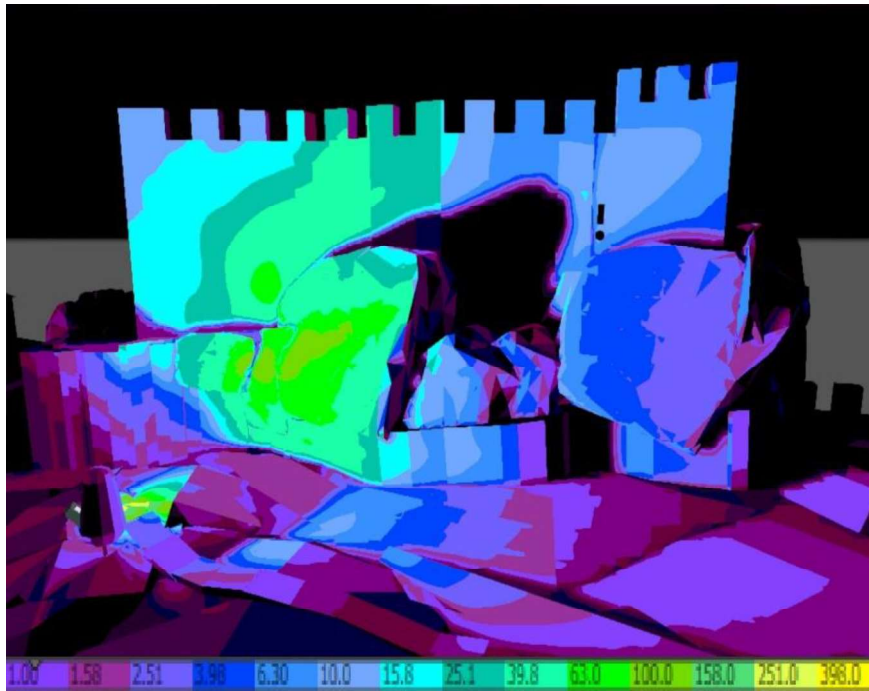


Figura 4.15. Diagrama de cores falsas do Castelejo com a iluminação atual (DialuxEvo 7)

Torna-se evidente que existe um défice de iluminação nesta edificação principalmente nas zonas Norte e Este, passando praticamente despercebido a sua existência.

Pretende-se nos cenários propostos para esta zona, uma quantidade de luz nas superfícies do Castelejo semelhante à atual mas uniforme em todo o seu perímetro, favorecendo uma maior homogeneidade de iluminação mas também um maior realce ao Castelejo. Este elemento construtivo permite também a utilização de lâmpadas de cor na criação de contrastes e da tecnologia LED RGB, tecnologia esta que permite a criação de imagens dinâmicas ou estáticas nas superfícies em causa bem como a simples variação de cores ao longo do tempo (Schröder,2017).

4.3.2 Caminhos Pedestres e de Circulação

A iluminação destas zonas é composta por dois tipos de luminárias.

Para a iluminação das zonas pedestres e de circulação é necessário respeitar certos valores impostos pela norma EN 12464-2. No entanto em várias zonas do interior do Castelo estes valores não são respeitados, bem como a homogeneidade da iluminação sendo possível observar nas Figuras 4.16 a 4.21 a falta de luz em várias zonas pedestres. Isto deve-se ao facto de em algumas zonas os pontos de luz serem demasiados intervalados.

A Figura 4.16. representa a entrada do castelo com a iluminação atual e a Figura 4.17 o respetivo diagrama de cores falsas desta zona.



Figura 4.16. Iluminação atual da rampa de entrada do Castelo (DialuxEvo 7)

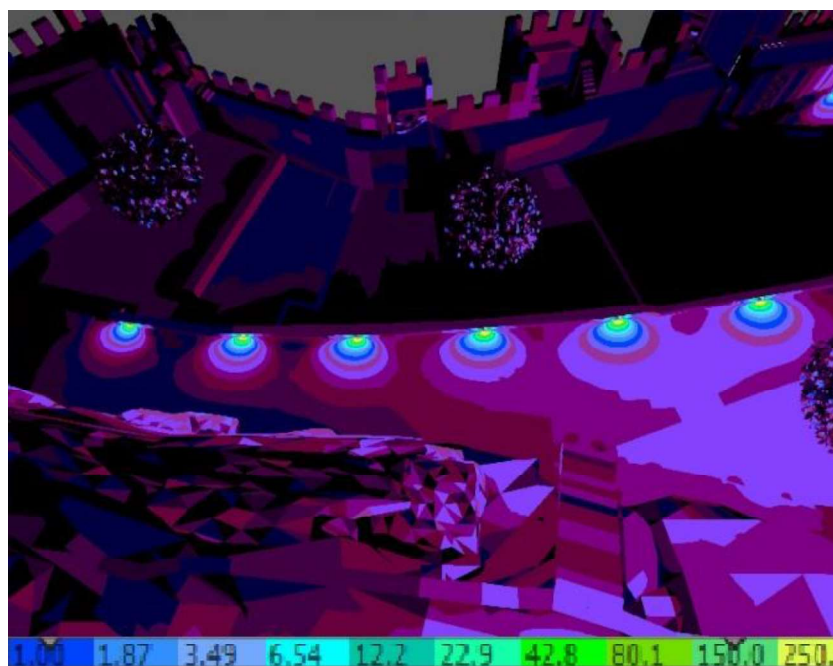


Figura 4.17. Diagrama de cores falsas da rampa de entrada do Castelo (DialuxEvo 7)

Nesta zona são pretendidos valores compreendidos entre os 5/10 lux, segundo a norma europeia, representado na Figura 4.17 pela tonalidade azul esverdeado. O espaçamento dos pontos de luz não é o mais indicado nem uniforme, resultando em pontos escuros entre algumas luminárias.

Na zona Este do Castelo, na parte de trás da igreja, são utilizados projetores de 70 W para iluminar um jardim e caminho de circulação, sendo possível iluminar esta zona com recurso a lâmpadas de potência mais baixa. A Figura 4.18 representa a iluminação atual do espaço em causa e a Figura 4.19 o diagrama de cores falsas.



Figura 4.18. Iluminação atual do caminho de circulação da Igreja (DialuxEvo7)

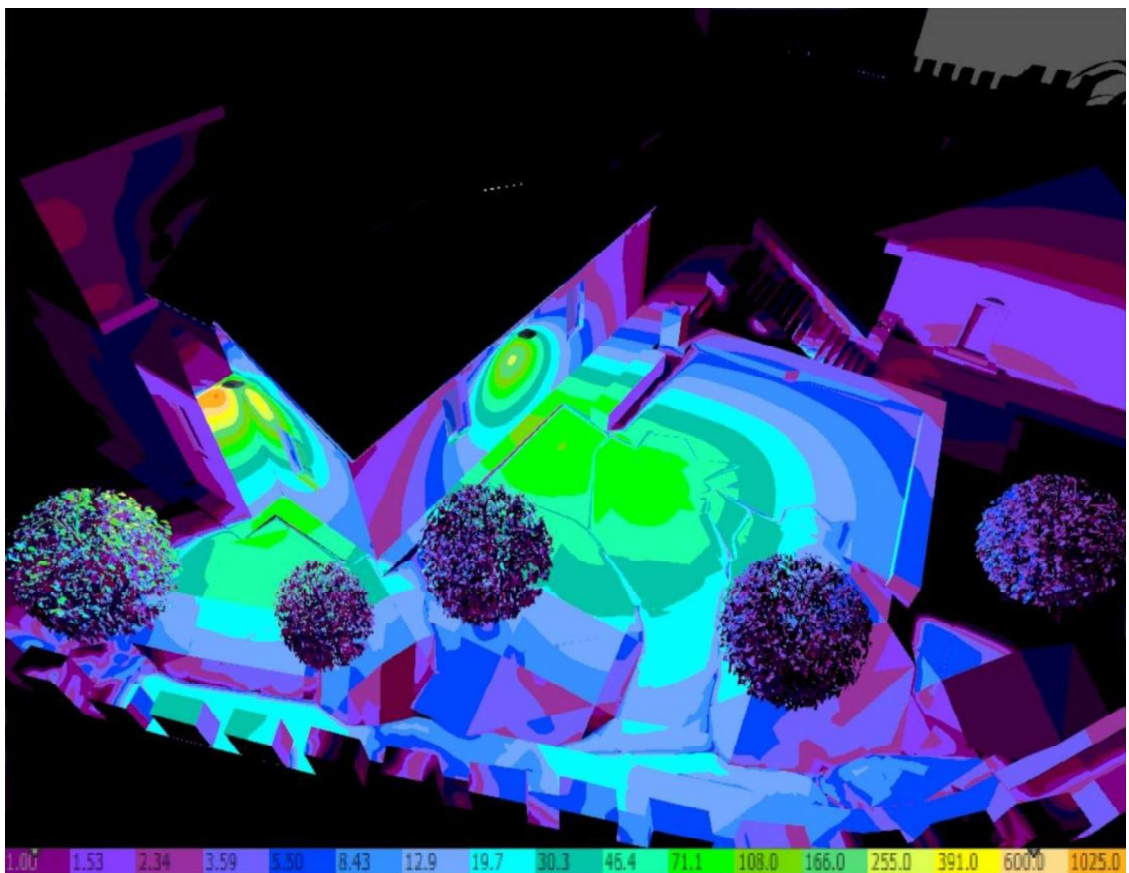


Figura 4.19. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do caminho de circulação da Igreja (DialuxEvo 7)

Pela análise da imagem é evidente que existe um excesso de iluminação, pois tratam-se de caminhos pedestres onde uma iluminância de 5 lux é suficiente, o que não corresponde aos valores simulados, onde existe uma média de aproximadamente 50 lux. Nos cenários propostos de iluminação pretende-se mudar o tipo de luminária e potência da mesma neste local.

Por fim, existe a zona de acesso à casa paroquial, que também tem ligação à vila de Penela. Nesta zona é de notar um grande défice de iluminação, estando a maior parte do espaço às escuras, como é possível observar nas Figuras 4.20 e 4.21.



Figura 4.20. Iluminação atual do espaço circundante da casa paroquial (DialuxEvo 7)

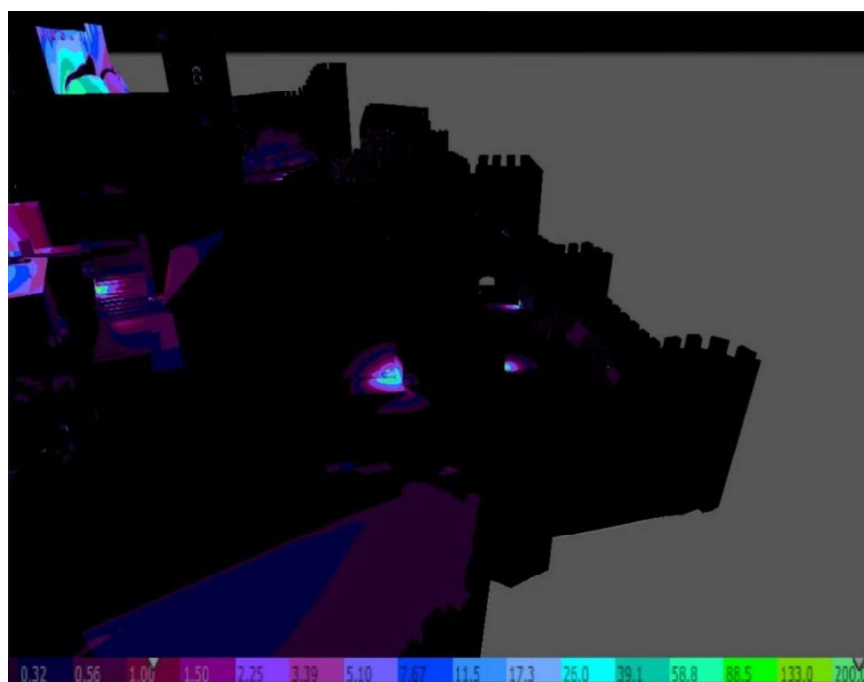


Figura 4.21. Diagrama de cores falsas da Iluminação Atual do espaço circundante da casa paroquial (DialuxEvo 7)

Este resultado pode ser opcional, uma vez que a casa paroquial é habitada e demasiada iluminação exterior pode interferir com as horas de repouso do ocupante. No entanto, as luminárias que atualmente estão desligadas poderiam complementar a falta de iluminação neste espaço, faltando ainda uma boa homogeneidade no sistema de iluminação.

4.3.3 Espaço do Anfiteatro

Este espaço é iluminado apenas com recurso a projetores de alta potência, o que representa um consumo elevadíssimo, apesar destes funcionarem cerca de 55 dias por ano. Só no mês de dezembro este espaço consome cerca de 1174 kWh uma vez que se encontram ligadas devido ao Presépio de Penela. Estas luminárias encontram-se instaladas de uma forma não muito convencional, na estrutura de uma árvore (Figura 4.22).



Figura 4.22. Disposição atual das luminárias no espaço do Anfiteatro (DialuxEvo 7)

Trata-se de um espaço que apenas é utilizado nas épocas festivas da Vila de Penela, pelo que uma iluminação pontual e de balizamento é a mais adequada para as tarefas aqui realizadas, como a passagem dos peões pelo Anfiteatro e a zona de plateia quando se realizam espetáculos.

Nos novos cenários de iluminação pretende-se mudar a disposição das luminárias e o tipo de iluminação desta zona uma vez que existe um consumo excessivo e níveis de iluminância elevados (250 lux), como é possível observar nas Figuras 4.23 a 4.26, que representam o espaço simulado com a iluminação atual e os diagramas de cores falsas do espaço.

Pretende-se, nos casos de estudo, uma iluminação localizada e pontual suficiente para a segura passagem dos ocupantes no espaço em questão e que não cause transtorno aos mesmos quando aqui se realiza o Presépio de Penela.

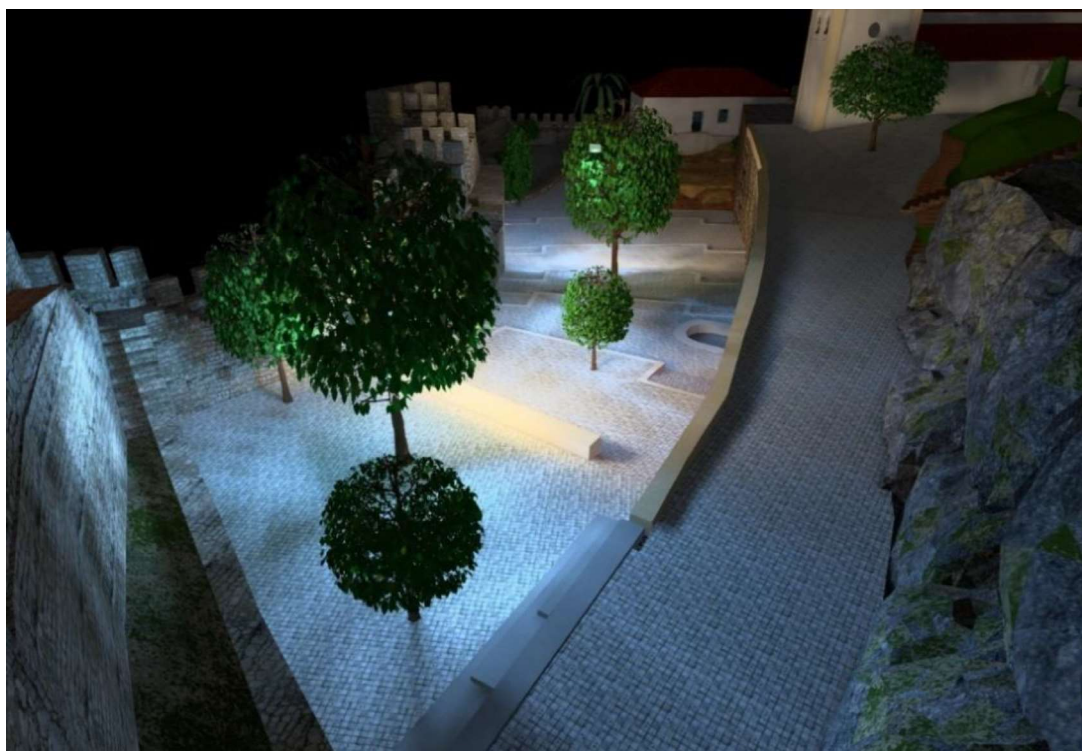


Figura 4.23. Iluminação atual do espaço do Anfiteatro, Zona Sul (DialuxEvo 7)

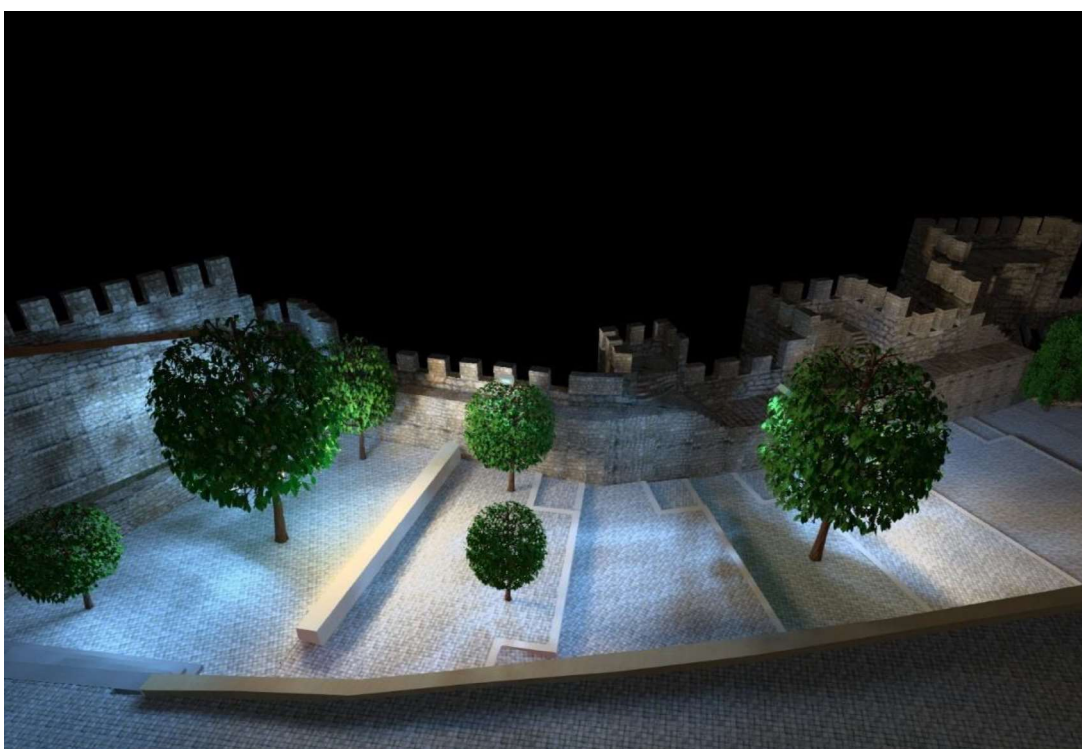


Figura 4.24. Iluminação atual do espaço do Anfiteatro, vista aérea (DialuxEvo 7)

É de notar também que apesar dos níveis de iluminância serem elevados, muito do fluxo luminoso é perdido pelos obstáculos das árvores, como folhas e ramificações, apesar destas serem de folha caduca.

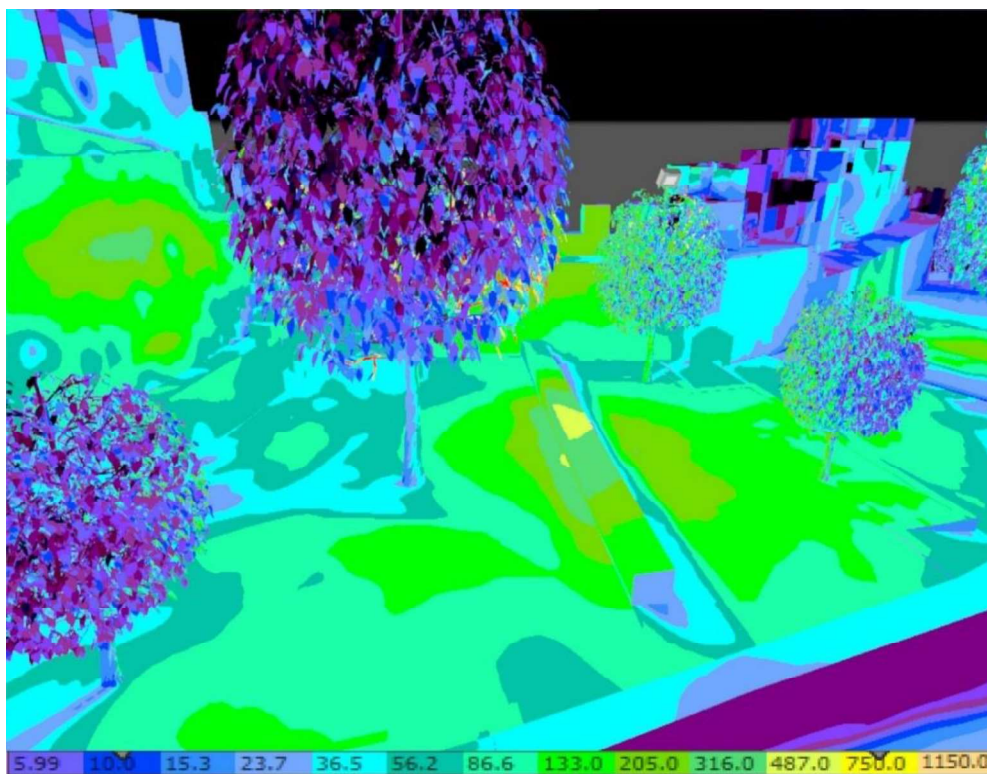


Figura 4.25. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do espaço do Anfiteatro, Zona Sul (DialuxEvo 7)

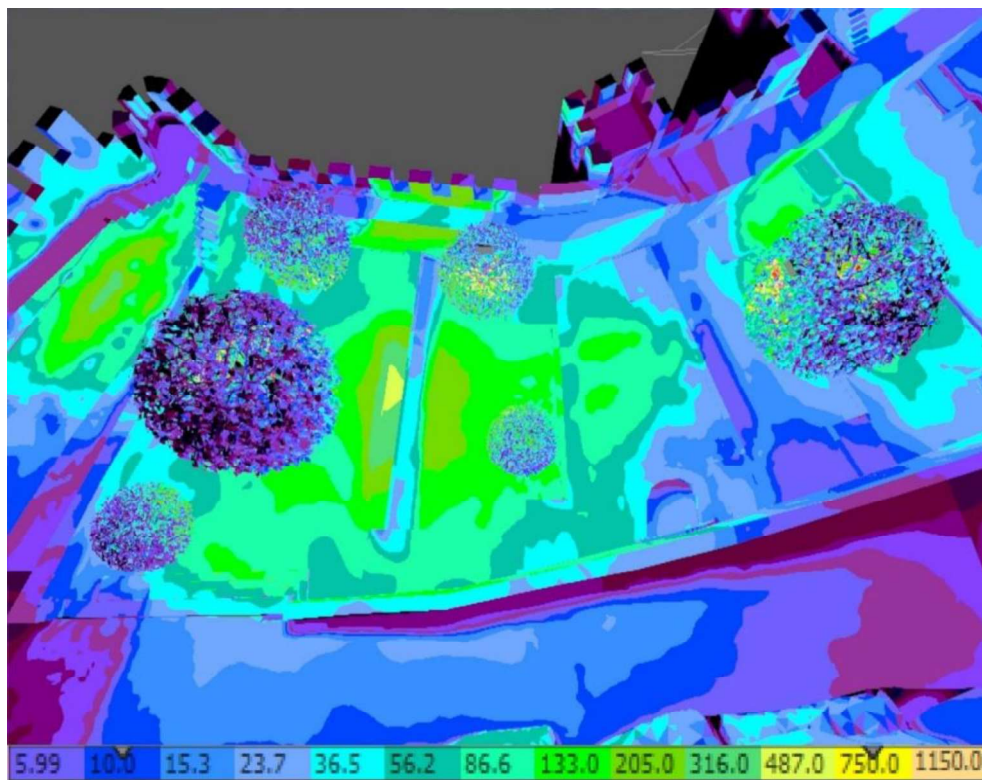


Figura 4.26. Diagrama de cores falsas da iluminação atual do espaço do Anfiteatro, vista aérea (DialuxEvo 7)

O nível de iluminância média aqui pretendida de acordo com a Tabela 3.1 é de 10 lux nas zonas de passagem, à exceção do espaço de realização do Presépio de Penela. Pela análise do diagrama de cores falsas verifica-se que aparecem valores 20 vezes superiores ao pretendido no plano de trabalho.

Pretende-se com os cenários propostos um sistema de iluminação especial para esta zona, que vá ao encontro dos requisitos dos responsáveis da CMP relativos às atividades aqui realizadas, bem como uma iluminação de qualidade sem potências elevadas, com iluminação localizada nos pontos de interesse. Resultará assim um sistema mais eficiente e mais seguro que o atual.

4.4 Conclusão

Neste capítulo foi primeiramente necessário efetuar a realização da planta 2D do Castelo, de modo a ser possível realizar a modelação do mesmo e o levantamento da iluminação aqui presente.

Após a primeira fase estar completa, procedeu-se ao levantamento da iluminação já existente no Castelo, para esta tarefa o autor optou por efetuar a leitura dos valores reais de iluminância no local, lidos a partir de um dispositivo eletrónico (luxímetro) em diversos pontos do Castelo. Este processo deveu-se ao facto de as luminárias presentes no Castelo encontrarem-se em grande estado de degradação. Os valores lidos são ilustrados no Anexo I.

Deste modo, foi possível selecionar no *software* DialuxEvo[®] luminárias com um fluxo luminoso que corresponde-se aos valores reais lidos no local em estudo. Conclui-se que existe um défice de iluminação no interior do Castelo, devido a termos inúmeras zonas escuras na simulação bem como na falta de pontos de luz em diversas zonas.

No Anfiteatro é notório o excesso de iluminação, que provoca o desconforto aos ocupantes devido a termos valores de iluminância média elevados (250 lux) e índices de encadeamento também elevados.

Foi ainda feita a respetiva análise energética ao sistema, de modo a termos os valores de consumo do sistema atual, para posteriormente serem comparados aos valores propostos.

Na última fase do capítulo é ilustrada a simulação obtida, com as luminárias selecionadas bem como os resultados dos diagramas de cores falsas. É possível constatar o défice de iluminação em diversas zonas e o oposto no espaço do Anfiteatro.

5. Casos de Estudo

Neste capítulo serão apresentados quatro cenários possíveis a efetuar no interior do Castelo de Penela com o intuito de melhorar a qualidade de iluminação existente e reduzir os custos de consumo associados. Neste projeto só se propuseram cenários que usem a tecnologia mais atual no campo da iluminação, o diodo emissor LED, que apesar de ter um custo inicial significativo são as lâmpadas mais economizadoras do mercado. Os sistemas de iluminação que usam LEDS trazem a longo prazo grandes benefícios a nível de redução de consumos e de retorno de investimento.

A escolha recai sobre a marca SCHRÉDER® devido a vários fatores, como: a marca SCHRÉDER® ter uma imagem de especialista em iluminação LED e por estarem inseridos em inúmeros projetos deste tipo, como por exemplo o Coliseu de Roma, por apresentarem no seu catálogo uma vasta gama de soluções e aplicações de lâmpadas LED com luminárias de grandes rendimentos, devido ao facto dos produtos serem de grande qualidade e proporcionarem uma alta poupança energética e manutenção reduzida e por fim, mas muito importante, pela disponibilidade e apoio prestado durante o projeto, bem como na rápida resposta dos responsáveis da marca.

No primeiro cenário o autor teve liberdade total para a criação de novos circuitos de iluminação, embora se traduza em maiores custos de obra, mostrando um resultado bastante satisfatório a nível de qualidade e homogeneidade da iluminação, de forma a atrair mais turistas ao Castelo, sendo ainda possível uma redução de consumo em comparação com o sistema atual.

No segundo cenário foi feita uma pesquisa por fabricantes de outro tipo de marcas de modo a reduzir o investimento inicial do primeiro caso. Foram reutilizados os resultados obtidos a nível de simulação e dimensionamento do primeiro cenário, efetuando apenas a respetiva análise energética e económica.

No terceiro cenário o autor teve em consideração o custo do total do projeto e tentou criar um sistema de iluminação que oferecesse na mesma uma boa qualidade de iluminação e que aumentasse as visitas ao Castelo, mas que apresenta-se um menor investimento inicial. Para este efeito os circuitos propostos restringem-se aos pontos de luz existentes, reestruturando alguns dos circuitos existentes e criando apenas um novo circuito para o Anfiteatro.

No quarto e último cenário foi efetuada na mesma uma pesquisa por luminárias de outros fabricantes de forma a reduzir o investimento inicial do terceiro cenário.

5.1. Cenário 1: Novo Sistema de Iluminação com LED - SCHRÉDER

O presente projeto tinha como objetivo a redução do custo da fatura energética, no entanto os resultados da simulação atual mostraram que em inúmeras áreas existe um grande défice de iluminação. Tornou-se necessária a criação de dois novos ramais de iluminação para combater este défice, nos ramais existentes foram acrescentados pontos de luz de forma a ter uma maior uniformidade de iluminação.

Embora o número de pontos de luz tenha aumentado foi possível uma redução de consumos, no entanto não tão elevada como esperado inicialmente.

O objetivo deste ponto passa então por oferecer uma maior uniformidade de iluminação, bem como níveis de iluminância média normalizados e principalmente o realce e destaque elaborado nas edificações da igreja paroquial e do Castelejo de modo a atrair mais pessoas na visita ao Castelo de Penela.

5.1.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas

A lista de Luminárias utilizadas bem como as suas características técnicas encontram-se no fim do Anexo IV – Cenário 1.

5.1.1.1 Ramal dos Caminhos de Circulação

Na análise das possibilidades de luminárias a serem utilizadas para os caminhos de circulação o autor tomou a decisão de utilizar luminárias semelhantes às existentes, no entanto bem mais eficientes, com melhor qualidade de luz e com menor consumo. Para este ramal foram utilizadas luminárias encastradas no solo e em muros à exceção da iluminação da Porta da Traição que utiliza luminárias fixadas superficialmente nas paredes. Existem 4 tipos de luminárias a instalar neste ramal.

Começando pela luminária que irá substituir a luminária atual (Figura 4.4) encontram-se um total de dezoito luminárias instaladas sendo necessárias mais duas para complementar o sistema atual. São luminárias encastradas nas paredes ou no solo, utilizam lâmpadas LED e apresentam elevado grau de estanquicidade (IP67) ao longo do tempo. Marca SCHRÉDER®, modelo TRASSO1 / 11 LEDS 350 mA WW ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.1).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 14 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 47,6 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 1.055 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 666 lm

Temperatura da cor: 3.500 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Médio

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 361 mm / 96 mm / 125 mm

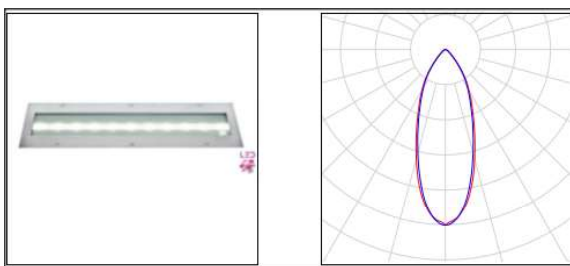


Figura 5.1. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo TRASSO1 (Schröder, 2017)

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP67 IK10

Relativamente ao fator de encadeamento que as luminárias podem provocar, uma vez que estas se encontram num nível próximo do chão, este fator é praticamente nulo. Este tipo de luminárias podem ser utilizadas, quer para elementos arquitetónicos, quer para balizagem de espaços públicos devido a oferecerem uma grande variedade fotométrica.

Como segundo tipo de luminárias a instalar neste ramal, temos um total de três luminárias que fazem o contorno da igreja, criando o efeito chamado de *Wall Washer*. Este efeito resulta da colocação das fontes de luz junto dos monumentos, como na iluminação de fachadas de edifícios, proporcionando contrastes e sombras capazes de revelar perfeitamente as formas e volume do monumento. Permite também controlar melhor os níveis de encadeamento para os pedões que se deslocam na envolvente (Schröder, 2017). Foi escolhida a versão encastrável de modo a ser o mais discreta possível no ambiente, são luminárias lineares com um metro de comprimento que utilizam LEDS da marca SCHRÉDER®, modelo SCULPLINE2 / 10 LEDS 350 mA WW ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.2).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 12 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 62,2 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 1.000 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 747 lm

Temperatura da cor: 3.000 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Médio

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 999 mm / 80 mm / 105 mm

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP66 IK10

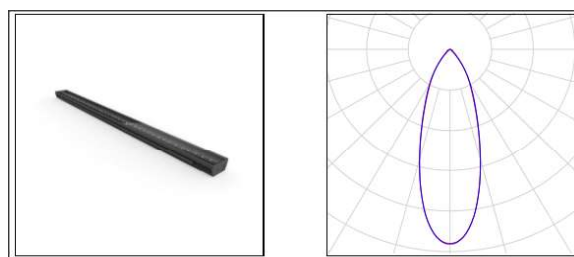


Figura 5.2. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo SCULPLINE 2 (Schröder, 2017)

Na iluminação dos pormenores da Porta da Traição foram seleccionadas duas luminárias de baixo consumo e de instalação superficial, de modo a dar realce a este local e a estar devidamente iluminado, pois representa uma das três entradas do Castelo. A grande vantagem deste tipo de luminária é a facilidade de instalação devido a terem um tamanho reduzido,

podendo ser instaladas em praticamente qualquer superfície mas também por terem um consumo reduzido. Marca SCHRÉDER®, modelo ENYO / 3 LEDS 350 mA WW ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.3).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 5 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 44,3 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 300 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 222 lm

Temperatura da cor: 3.000 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Médio

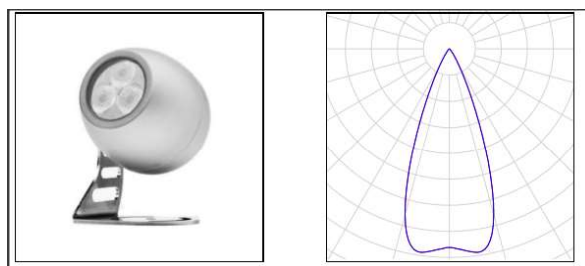


Figura 5.3. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo ENYO (Schröder, 2017)

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 96 mm / 115 mm / 92 mm

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP67 IK07

Estas luminárias são ideais para destaque arquitetônico podendo, devido ao seu pequeno tamanho, ser aplicadas em praticamente todos os locais.

Por último, neste ramal temos uma luminária instalada de forma a iluminar a copa de uma árvore ao lado da igreja provocando um efeito acolhedor e que permite visualizar a área circundante. Projetor circular de encastrar no solo com elevada resistência mecânica com LED's de alta potência. Os vários tipos de soluções fotométricas permitem também vários tipos de iluminação como copas de árvores, pontes, pormenores de arquitetura, estátuas e monumentos. Luminária também a utilizar no ramal do Anfiteatro. Marca SCHRÉDER®, modelo TERRA MIDI LED / 16 LEDS 350 mA WW ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.4).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 21 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 53,9 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 1.523 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 1.131 lm

Temperatura da cor: 3.500 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Assimétrico

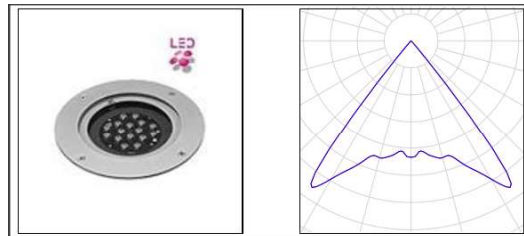


Figura 5.4. Luminária proposta e feixe de luz para caminhos de circulação, Modelo TERRA MIDI LED (Schröder, 2017)

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 283 mm / 270 mm

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP67 IK10

5.1.1.2 Ramal do Castelejo

Este ramal inicialmente era composto por quatro luminárias do mesmo tipo, no entanto os resultados obtidos mostraram que a luminária utilizada não era a mais indicada e que certos pormenores do Castelejo não eram iluminados. No cenário proposto este ramal fica então composto por cinco luminárias de projeção e seis luminárias no interior do Castelejo.

Nas luminárias de projeção, responsáveis pela iluminação das muralhas exteriores do Castelejo, temos dois tipos.

O primeiro tipo são luminárias de maior potência, idênticas às atualmente instaladas, uma vez que se encontram a uma distância considerável da superfície a iluminar. São utilizadas três luminárias em que uma é dotada de tecnologia RGB. Foram selecionadas luminárias para embelezamento arquitetural de modo a realçar esta edificação e proporcionar uma sensação de conforto e bem-estar aos ocupantes. Marca SCHRÉDER®, modelo SCULPFLOOD 150 / 96 LEDS 500 mA WW ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.5).

Características indicadas pelo Fabricante:**Características elétricas:**

Potência de ligação: 164 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 50,6 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 12.480 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 8.305 lm



Figura 5.5. Luminária proposta e feixe de luz para o Castelejo, Modelo SCULPFLOOD 150 (Schröder, 2017)

Temperatura da cor: 3.000 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Elíptico

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 551 mm / 392 mm / 94 mm

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP66 IK07

Uma proposta que pode ser retificada é a utilização ou não da tecnologia RGB na luminária que se encontra na muralha Oeste, que permite a simples variação de cores entre várias tonalidades e ainda a criação de imagens dinâmicas, como por exemplo, letras e pequenos vídeos (exemplo: a frase “Castelo de Penela” projetada na muralha do Castelejo). Tecnologia a ter em conta nas épocas festivas pois permite “brincar” com as cores projetadas cativando ainda mais os visitantes.

O segundo tipo é idêntico ao primeiro mas numa gama de potências mais baixas, são utilizadas duas luminárias em que uma é dotada de tecnologia RGB. Marca SCHRÉDER®, modelo SCULPFLOOD 60 / 32 LEDS 600 mA WW ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.6).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 66 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 46,1 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 4.832 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 3.040 lm

Temperatura da cor: 3.000 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Largo

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 271 mm / 270 mm / 147 mm

Classe de Proteção: II



Figura 5.6. Luminária proposta e feixe de luz para o Castelejo, Modelo SCULPFLOOD 60 (Schröder, 2017)

Índices de Proteção: IP66 IK07

Por último temos as luminárias responsáveis pelos pormenores do Castelejo colocados no seu interior num total de seis luminárias, sendo elas luminárias iguais às apresentadas no ramal anterior (5.1.1.1). Ou de marcas e modelos equivalentes do mercado.

- Marca SCHRÉDER® modelo ENYO / 3 LEDS 350 mA (ver no ramal anterior Figura 5.3.)

5.1.1.3 Ramal da Igreja Paroquial

A igreja Paroquial é dos elementos que merece mais destaque no interior do Castelo, pelo seu tipo de construção, cor/textura e localização no espaço. Foram então selecionadas para este ramal luminárias que satisfizessem uma iluminação cénica e de embelezamento arquitetural.

As luminárias selecionadas foram as indicadas para criar o efeito *Wall washer*, como referido anteriormente.

O primeiro tipo de luminárias utilizadas diz respeito ao modelo TRASSO1 / 11 LEDS 350 mA da marca SCHRÉDER®, anteriormente apresentadas, diferenciando-se apenas no tipo de feixe de luz, o ramal é então composto por sete luminárias Trasso1 de feixe estreito, ver Figura 5.7.

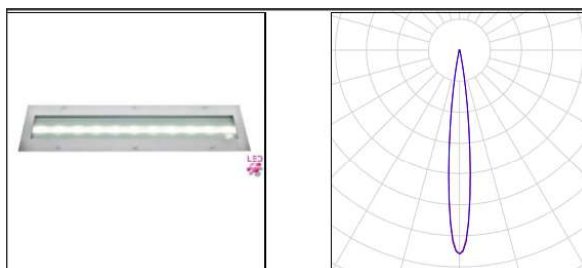


Figura 5.7. Luminária proposta e feixe de luz para a igreja, Modelo TRASSO 1 (Schröder, 2017)

Outro tipo de luminária utilizada neste ramal, também já apresentada, é o modelo SCULPLINE2 / 10 LEDS / 350 mA, da marca SCHRÉDER® ver Figura 5.2. No ramal da igreja são utilizadas quatro luminárias deste tipo, responsáveis pela iluminação da torre da igreja.

No interior da torre da igreja paroquial, foram colocadas duas luminárias de modo a criar um contraste com a cor dos sinos. Resultando num efeito bastante agradável à vista humana. Foram utilizadas da marca SCHRÉDER® o modelo SCULPDOT / 16 LEDS / 600 mA, ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.8).

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 35 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 32,6 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 1.812 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 1.140 lm

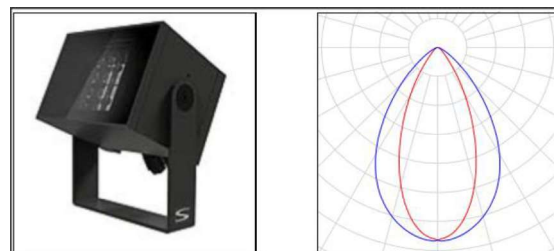


Figura 5.8. Luminária proposta e feixe de luz para a igreja paroquial, Modelo SCULPDOT (Schröder, 2017)

Temperatura da cor: 3.000 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Assimétrico

Filtro de cor: Fator de transmissão = 58,1 %

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 199 mm / 240 mm / 160mm

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP66 IK07

Por último, temos a iluminação da zona superior da igreja e da torre da igreja que é feita com recurso a uma luminária já apresentada, o modelo ENYO / 3 LEDS / 350 mA, da marca SCHRÉDER® utilizando desta vez o feixe estreito de modo a apenas iluminar os pormenores que sobressaem em cada canto da edificação (Figura 5.9). São utilizadas num total onze luminárias deste tipo no ramal da igreja.

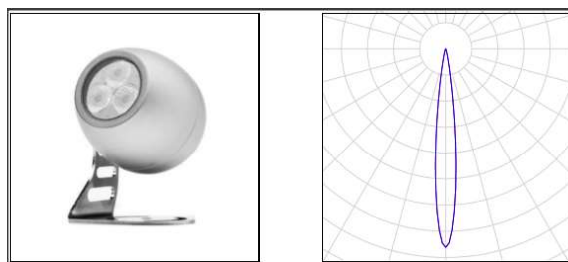


Figura 5.9. Luminária proposta e feixe de luz para a igreja paroquial, Modelo ENYO (Schröder, 2017)

5.1.1.4 Ramal do Anfiteatro

O Anfiteatro é uma das zonas que se encontra sobredimensionada, com níveis de iluminância média muito elevados, para aquilo que realmente é definido. Foram seleccionadas para esta zona luminárias para iluminação rasante, de modo a deixar bem visível o contorno dos degraus aqui presentes, bem como as árvores e obstáculos. Esta zona serve essencialmente como passagem para os visitantes durante o Presépio de Penela.

O primeiro tipo de luminárias aqui utilizadas é o modelo TERRA MIDI LED / 16 LEDS / 350 mA, da marca SCHRÉDER®, apresentada no ramal dos caminhos de circulação, em que se diferenciam apenas pelo tipo de feixe de luz utilizado (Figura 5.10). Neste caso são utilizadas dez luminárias TERRA MIDI de feixe médio.

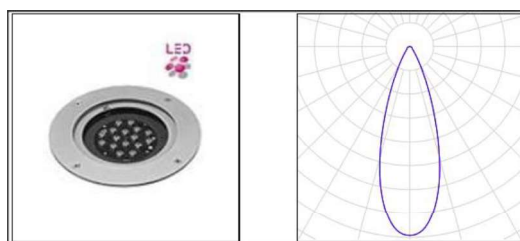


Figura 5.10. Luminária proposta e feixe de luz para o Anfiteatro, Modelo TERRA MIDI LED (Schröder, 2017)

O último tipo de luminárias aqui utilizado são também encastráveis, de elevada resistência mecânica neste caso necessárias para fazer a balizagem dos degraus de entrada e dos patamares do Anfiteatro, usados como iluminação pontual. Marca SCHRÉDER® modelo PONTO / 3 LEDS / 350 mA, ou equivalente de outras marcas do mercado (Figura 5.11). Neste ramal foram utilizadas um total de trinta e seis luminárias deste tipo.

Características indicadas pelo Fabricante:

Características elétricas:

Potência de ligação: 5 W

Alimentação da Rede: 230 V, 50 Hz

Características fotométricas:

Rendimento Luminoso: 38,6 lm/W

Fluxo Luminoso da Lâmpada: 288 lm

Fluxo luminoso da Luminária: 193 lm

Temperatura da cor: 3.500 K

Índice de restituição de cores: 80

Feixe de luz: Feixe Médio

Características físicas:

Tempo de vida útil: 60.000 h

Dimensões: 110 mm / 224 mm

Classe de Proteção: II

Índices de Proteção: IP67 IK10



Figura 5.11. Luminária proposta e feixe de luz para o Anfiteatro, Modelo PONTO (Schröder, 2017)

5.1.2 Dimensionamento dos novos Circuitos de Iluminação

Como referido anteriormente para o novo sistema de iluminação serão necessários quatro ramais diferentes, dois deles já existentes apenas com algumas alterações e a necessidade da criação de dois novos ramais.

Os dois novos ramais dizem respeito à iluminação da igreja paroquial de S. Miguel e à iluminação do Anfiteatro. Os restantes são relativos aos caminhos de circulação pelo Castelo e à iluminação do Castelejo.

No Anexo IV é possível observar as plantas 2D do Castelo com as novas implementações, desde os novos circuitos criados, a complementação dos circuitos atuais, as proteções a ter em conta no armário de distribuição e ainda o tipo de cabos e condutas a utilizar no projeto. A verde é representado tudo o que é novo na instalação e a vermelho está representado o que já existe no interior do Castelo.

No Anexo IV - Folhas Nº 02 a 06 encontram-se as plantas 2D com as implementações necessárias para o primeiro cenário.

5.1.2.1 Ramal da Igreja Paroquial

Para este ramal prevê-se a passagem do cabo dentro de tubos subterrâneos até à torre da igreja que ligam as primeiras luminárias. Em obra poderá optar-se por não ter canalização subterrânea devido ao tipo de solo existente. Deste modo o ramal inicialmente tem canalização enterrada até à torre da igreja que de seguida sobe na vertical pelo interior da própria torre ligando os diversos sub-ramais com canalização à vista, ver Figura 5.12 e Anexo IV – Folhas Nº 04 e 05, detalhes da instalação do ramal da Igreja.

Este ramal é constituído por vinte e três luminárias com uma potência total de 271 W.



Figura 5.12. Ilustração das canalizações do ramal da igreja (Autocad 2016)

Para o dimensionamento dos novos ramaís foi necessário efetuar uma tabela de cálculo disposta no Anexo II, onde temos os valores das correntes em cada ramal e sub-ramal, utilizando as leis de Kirchhoff e ainda as potências em cada ponto do circuito.

Equações utilizadas:

$$S = \frac{P}{FP} \quad (5.1)$$

$$I_s = \frac{S}{U_s} \quad (5.2)$$

S = Potência Aparente [VA]

I_s = Corrente de Serviço [A]

FP = Fator de Potência, considerado 0.9 para LED

P = Potência instalada [W]

U_s = Tensão Simples [V], 230V para monofásico

Para o dimensionamento do tipo de cabo e respetiva secção e canalizações elétricas, o autor recorreu às Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), em que para

cada ramal foi necessário garantir o cumprimento do critério de aquecimento e das quedas de tensão, simultaneamente.

É necessário também proteger os circuitos contra sobreintensidades, sobrecargas, curto-circuitos e contactos directos e indirectos seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006). Todo o cálculo é discriminado no Anexo II.

Para o ramal da igreja os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização Enterrada:** 32 m de cabo XV 2x2.5+T e 33 m de cabo XV 2x1.5+T protegidos por tubo $\Phi 25$ mm de polietileno articulado para enterrar (tubo tipo JAGRIS c/guia);
- **Canalização à vista:** 63 m de cabo XV 2x1,5+T e 63 m de tubo $\Phi 25$ mm tipo PVC liso;
- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição principal e três caixas de derivação.

5.1.2.2 Ramal do Anfiteatro

Para este ramal prevê-se a passagem do cabo por canalização enterrada a implementar e a necessidade de colocar caixas de derivação. Optou-se por utilizar o armário de distribuição secundário presente no mesmo espaço, de modo a encurtar as distâncias de cabos e canalização, ver Figura 5.13. Existe canalização enterrada em todo o comprimento do ramal.

Este ramal é constituído por quarenta e seis luminárias com uma potência total de 390 W.

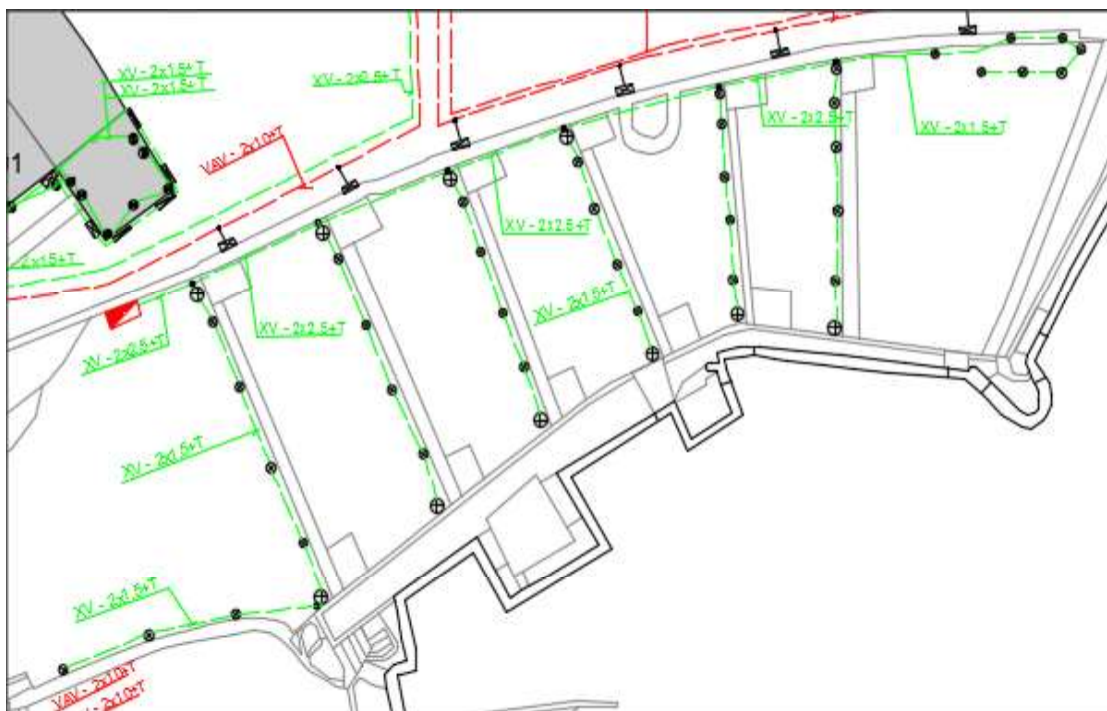


Figura 5.13. Ilustração das canalizações do ramal do Anfiteatro (Autocad 2016)

Com a utilização das equações 5.1 e 5.2 existe a tabela de cálculo com os valores necessários no Anexo II para este ramal. No dimensionamento foi necessário cumprir os critérios já apresentados, seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006).

Para o ramal do Castelejo os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização Enterrada:** 42 m de cabo XV 2x2.5+T e 120 m de cabo XV 2x1,5+T protegidos por tubo de $\Phi 25$ mm de polietileno articulado para enterrar (tubo tipo JAGRIS c/guia);
- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição secundário e sete caixas de derivação.

5.1.2.3 Ramal do Castelejo

Para este ramal prevê-se a utilização da canalização já existente e do mesmo tipo de cabo (cor vermelha) até à zona onde está a nova instalação (cor verde), ver Figura 5.14. O sistema tem canalização enterrada à exceção das luminárias que se encontram no interior do Castelejo onde se optou por canalização à vista, mas de forma que passe despercebido para não estragar a estética do local. Uma vez que esta zona é bastante rochosa não se optou por canalização enterrada nem embutida nas muralhas pois são Património Nacional. Na ausência da opinião e conselho do arquiteto responsável para esta zona foi esta a decisão tomada.

Este ramal é constituído por onze luminárias com uma potência total de 654 W.

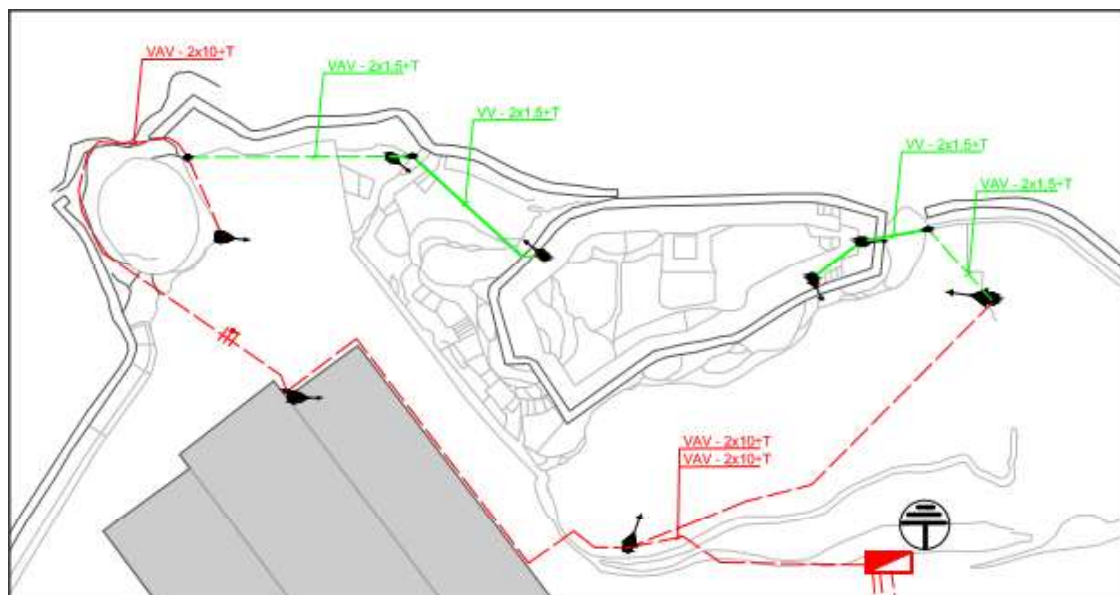


Figura 5.14. Ilustração das canalizações do ramal do Castelejo (Autocad 2016)

Com a utilização das equações 5.1 e 5.2 existe a tabela de cálculo no Anexo II com os valores necessários para este ramal. No dimensionamento foi necessário cumprir os critérios já apresentados seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006).

Para o ramal do Castelejo os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização Enterrada:** 24 m de cabo XV 2x1,5+T e 24 m de tubo $\Phi 25$ mm de polietileno articulado para enterrar (tubo tipo JAGRIS c/guia);
- **Canalização à vista:** 44 m de cabo XV 2x1,5+T e 44 m de tubo $\Phi 25$ mm resistente à corrosão e impacto (IP53 e IK08 no mínimo);
- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição principal e três caixas de derivação.

5.1.2.4 Ramal dos Caminhos de Circulação

Para este ramal prevê-se a utilização da canalização já existente e do mesmo tipo de cabo (cor vermelha) até às zonas onde está a nova instalação (cor verde), ver Figuras 5.15 e 5.16. O sistema tem canalização enterrada à exceção das luminárias que se encontram no interior da Porta da Traição, onde se optou por canalização à vista, mas de forma que passe despercebido para não estragar a estética do local.

Este ramal é constituído por vinte e seis luminárias com uma potência total de 347 W.

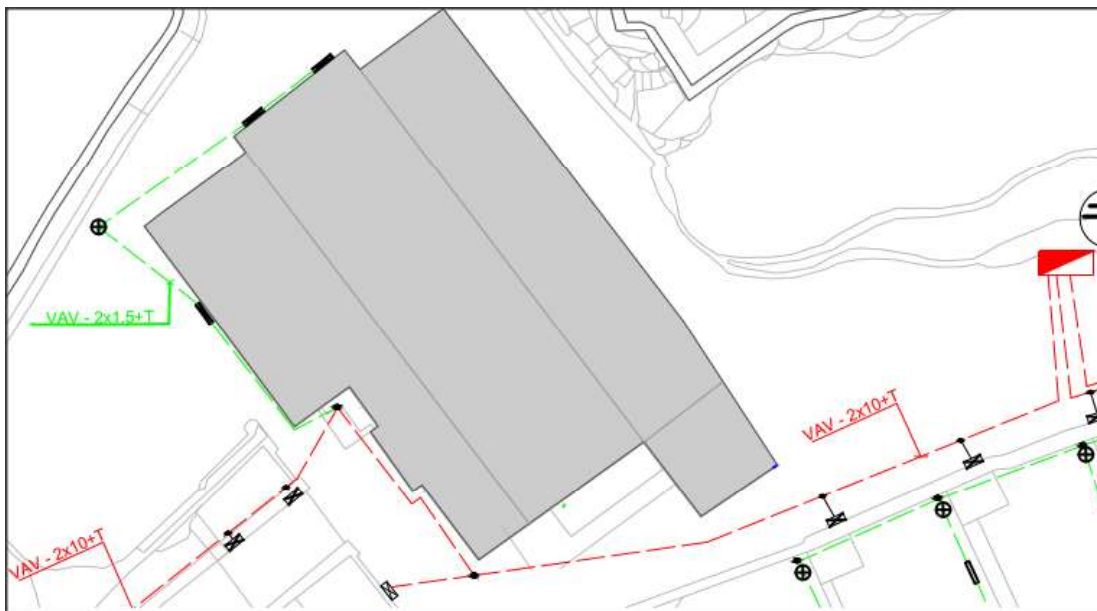


Figura 5.15. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, contorno da Igreja (Autocad 2016)

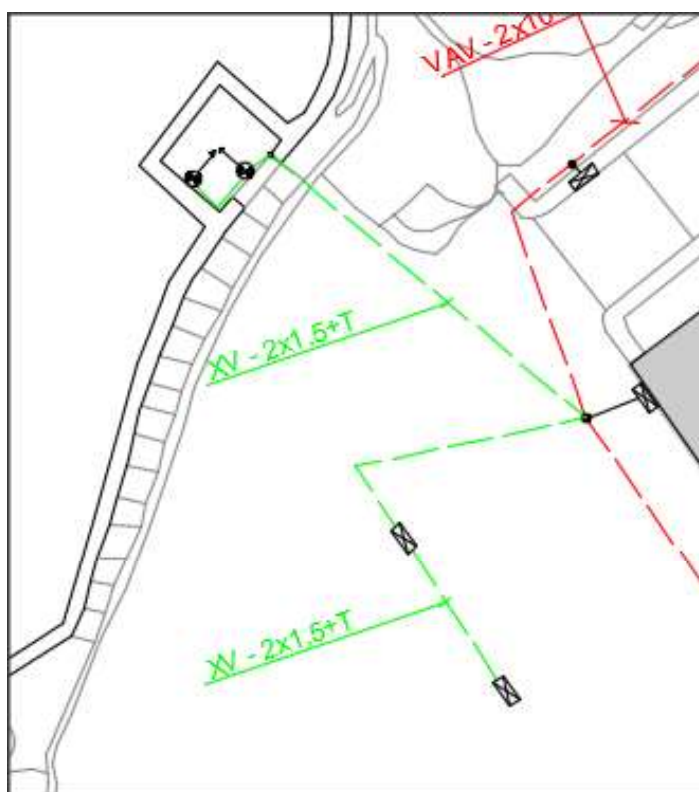


Figura 5.16. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, Porta da Traição e jardim paroquial (Autocad 2016)

Com a utilização das equações 5.1 e 5.2 temos a tabela de cálculo no Anexo II para este ramal. No dimensionamento foi necessário cumprir os critérios já apresentados seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006).

Para o ramal dos Caminhos de Circulação os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização Enterrada:** 70 m de cabo XV 2x1,5+T e de tubo 70 mm Φ 25 mm de polietileno articulado para enterrar (tubo tipo JAGRIS c/guia);
- **Canalização à vista:** 5 m de cabo XV 2x1,5+T e 5 m de tubo Φ 25 mm, no interior da porta da tração (tubo tipo VD);
- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição principal e uma caixa de derivação.

5.1.3 Análise Energética e Económica

Primeiramente tentou-se reduzir o consumo da instalação, no entanto, após uma análise dos resultados obtidos com a simulação atual mostrou-se prioritário a criação de mais pontos de luz, de modo a que nas zonas de circulação se obtenham valores normalizados e uma iluminação uniforme. Para além deste fator e com o intuito de tornar o Castelo mais atrativo, foi utilizada uma iluminação cénica na Igreja e no Castelejo, iluminação capaz de transmitir sentimentos de conforto e bem-estar aos ocupantes, resultando também no aumento dos pontos de luz.

No primeiro cenário passam a existir 107 luminárias em vez das 35 atuais. O facto de terem sido utilizadas luminárias com tecnologia LED permitiu que mesmo aumentando o número de luminárias atuais tenhamos uma redução de consumo anual, que poderia ser maior se mantivéssemos o mesmo número de pontos de luz.

Neste ponto apenas é utilizada a marca SCHRÉDER®. De acordo com as Equações 4.1 e 4.3, obtiveram-se os seguintes valores para o primeiro cenário, ver Tabela 5.1 na página seguinte.

A Tabela 5.2 é o resumo da anterior onde estão os custos, consumos e emissões de CO₂ anuais com a instalação do primeiro cenário e ainda os mesmos valores relativos à iluminação atual de forma a serem comparados. Para este quadro foi utilizada a Equação 4.2.

Tabela 5.2. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entre a Iluminação Atual e o cenário 1 Schröder

	Potência Instalada [W]	Consumo Anual [kWh/ano]	Emissões de CO ₂ [tonCO ₂ /ano]	Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Atual	4.671	8.767,7	4,12	2.103,4
Iluminação Cenário 1	1.662	5.219,0	2,45	1.374,9

Tabela 5.1. Consumo Mensal do Interior do Castelo com o cenário 1 Schröder, por tipo de luminária

Tipo de luminária	Consumo Mensal Total [kWh]												Consumo anual por tipo de luminária [kWh]	Custo anual por tipo de luminária [€]
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Schröder SculpDot	28	25	28	19	20	19	20	20	19	20	27	28	273	45
Schröder Sculpline 2	34	32	34	23	23	23	23	23	23	23	33	34	328	54
Schröder Trasso 1	153	143	153	102	105	102	105	105	102	105	147	153	1.475	245
Schröder Enyo	38	36	38	25	27	25	27	27	25	27	37	38	370	62
Schröder Sculp Flood 150	198	184	198	133	137	133	137	137	133	137	191	198	1.920	318
Schröder Sculp Flood 60	53	49	53	36	37	36	37	37	36	37	51	53	515	85
Schröder TerraMidi	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	8	8	82	14
Schröder TerraMidi Anfiteatro	25							28				85	138	23
Schröder Ponto Anfiteatro	21							24				73	118	20
Total													5.219	866

Os valores a reter encontram-se na Tabela 5.3 que dizem respeito às reduções possíveis quer de consumo quer de custos com a implementação da medida de intervenção, quando comparada aos valores da iluminação existente.

Tabela 5.3. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 1 Schröder

	Redução de Consumo Anual [kWh/ano]	Redução de CO ₂ Anual [tonCO ₂ /ano]	Redução de Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Cenário 1	3.548,7	1,67	728,49

Na Figura 5.17 é visível a diferença de consumos do sistema atual para o proposto do primeiro cenário, apesar de termos mais pontos de luz. Esta diferença toma valores maiores nos meses em que as luminárias do Anfiteatro estão ligadas, meses de dezembro, janeiro e agosto. Pode-

se concluir que o sistema proposto representa um sistema bem mais eficiente que o atual, pois com um número bastante superior de luminárias instaladas foi possível uma redução de consumo e de custos, mas também de potência instalada passando para menos de metade.

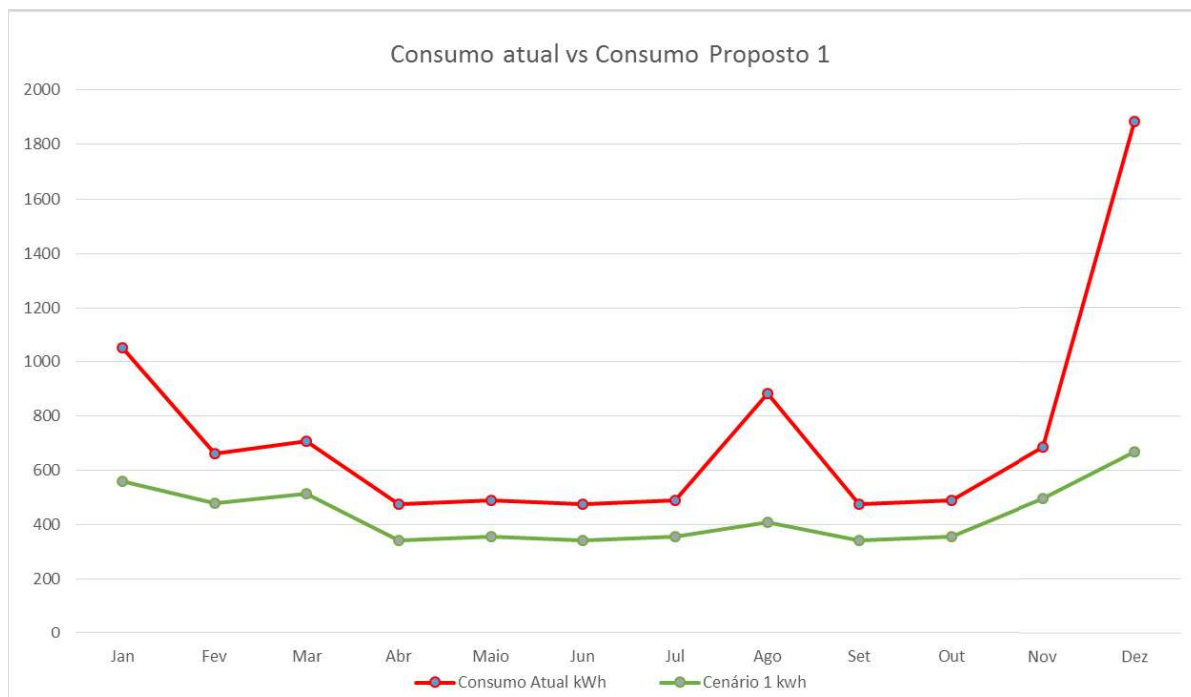


Figura 5.17. Consumos Mensais entre a Iluminação Atual e o cenário 1 Schröder

Em termos de avaliação económica o tempo de retorno do investimento inicial é de 55 anos uma vez que estamos a falar de um investimento inicial de 39.546 €, sem contar com os custos de obra e apenas com uma redução de custos de fatura anual de aproximadamente 728,5 €/ano, ver Anexo III – Cenário 1 que contém todo o cálculo discriminado.

Existem ainda custos associados ao sistema, em que os LEDS apresentam uma depreciação do fluxo luminoso de 10 % após 60.000 h de funcionamento, ou seja, segundo o horário de funcionamento deste sistema ao 15º ano à exceção dos LEDS do Anfiteatro que apenas são utilizados nas épocas festivas.

Um dos fatores a ter conta é a grande melhoria que há na qualidade de iluminação e na sua uniformidade pelo interior do Castelo tornando-o num ambiente mais seguro e no qual os ocupantes se sintam bem e confortáveis. Para além desse fator, existe uma grande melhoria no realce e beleza que se deu às edificações presentes (Igreja e Castelejo) que são visíveis de pontos a longa distância e que despertam o interesse de visitar o Castelo.

5.1.4 Simulação do Cenário 1 com recurso ao DialuxEvo®

Na presente secção é abordada a simulação e resultados obtidos com a iluminação proposta do cenário 1, em que se utiliza uma nova iluminação LED com recurso à ferramenta computacional DialuxEvo® (DialuxEvo, 2017).

Nas Figuras 5.18, 5.19 e 5.20 são apresentadas vistas gerais do Castelo de Penela com a implementação da iluminação proposta. É possível constatar uma diferença bastante

considerável de quantidade e qualidade de luz quando comparada às mesmas imagens da iluminação atual.



Figura 5.18. Vista Oeste da Simulação da Iluminação proposta do cenário 1 (DialuxEvo, 2017)



Figura 5.19. Vista Norte da Simulação da Iluminação proposta do cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

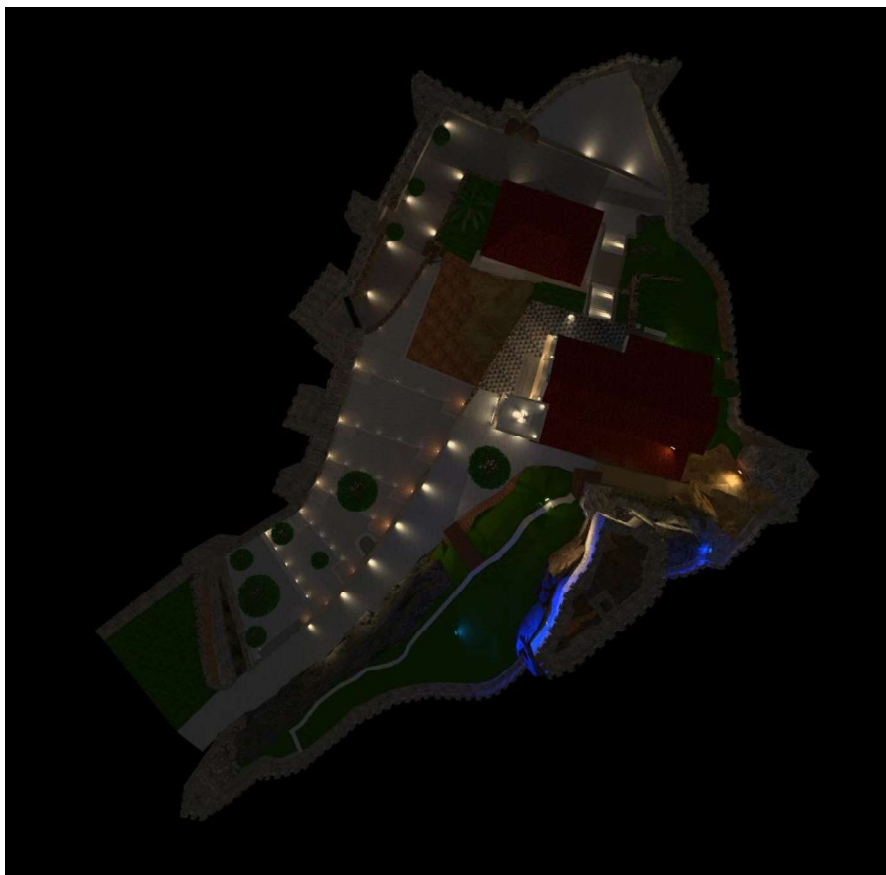


Figura 5.20. Vista aérea da Simulação da Iluminação proposta do cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Foram escolhidas como cores de luz valores na ordem dos 3.000 - 3.500 K, que representam a cor branco quente, cor esta que transmite aos ocupantes sensações de um ambiente acolhedor e confortável fazendo com que se sintam bem e seguros no local. Esta cor foi escolhida também de forma a fazer contraste com a cor branca fria que se encontra no exterior da muralha Oeste.

De seguida é feita a análise à simulação obtida de acordo com os espaços em estudo.

5.1.4.1 Castelejo e espaço circundante

Como referido no capítulo anterior, o Castelejo apresentava um grande défice de iluminação devido a esta edificação ser atualmente iluminada por um único projetor. Neste ramal utilizou-se a canalização existente de forma a não agravar os custos de obra, no entanto foi necessário aumentar os pontos de luz devido a existir um défice de iluminação na zona Este do Castelejo, principalmente nos degraus de acesso ao mesmo, o que representa um problema de segurança para os utilizadores.

Após estarem normalizados os valores de iluminância nos degraus de acesso ao local e também nas superfícies a que se pretende dar destaque, pretendeu-se ainda iluminar de dentro para fora os orifícios presentes nas muralhas do Castelejo, como representado na Figura 5.21. A iluminação deste pormenor provoca um contraste muito interessante com a cor azul implementada no exterior da muralha e que é observável a longa distância.



Figura 5.21. Detalhe de Instalação do pormenor do Castelejo (DialuxEvo, 2017)

Nas Figuras 5.22, 5.23 e 5.24 é possível observar a simulação da iluminação do primeiro cenário no Castelejo. Foi eleita uma cor azul em dois dos projetores devido a ser uma das cores que representa a Vila de Penela, mas também com o intuito de despertar a atenção aos visitantes e de criar um contraste com os orifícios da muralha. No entanto, uma vez que a luminária é dotada da tecnologia RGB, poderá não ser esta a cor selecionada.

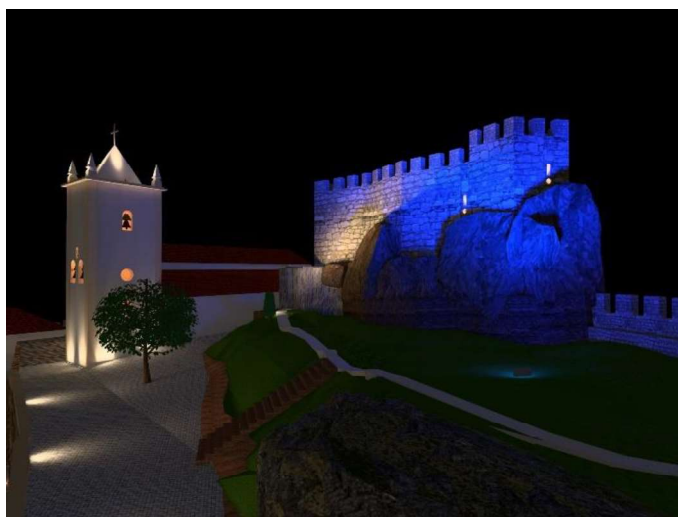


Figura 5.22. Simulação do cenário 1 no Castelejo, vista Sul (DialuxEvo, 2017)

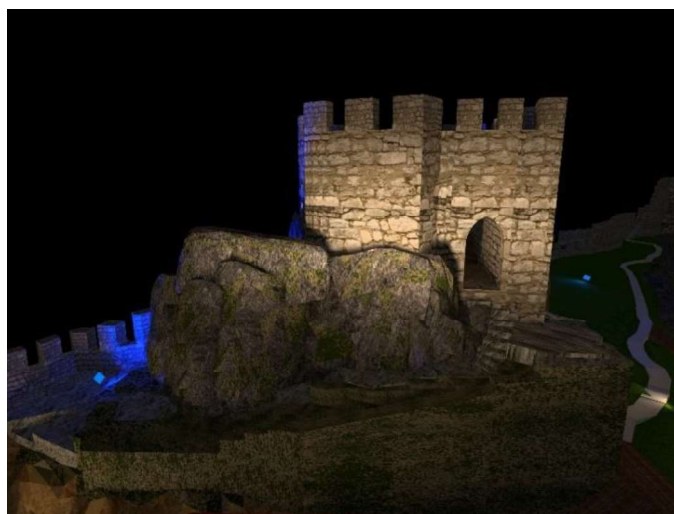


Figura 5.23. Simulação do cenário 1 no Castelejo, Entrada do Castelejo (DialuxEvo, 2017)

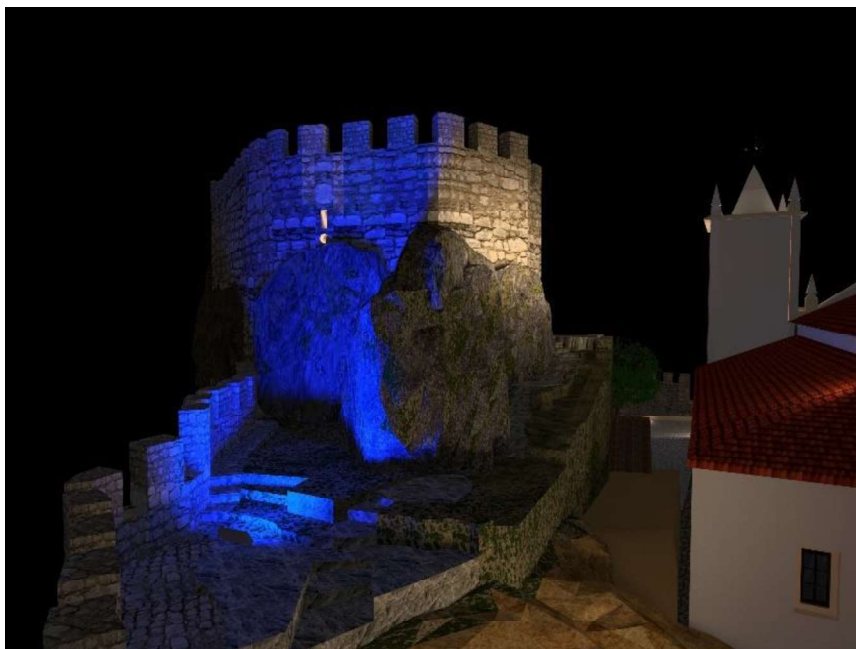


Figura 5.24. Simulação do cenário 1 no Castelejo, vista Este (DialuxEvo, 2017)

Os valores médios de iluminância segundo a norma EN 12464-2 para os locais de passagem é de aproximadamente 5-10 lux, representada na Figura 5.25 pela tonalidade roxo escuro e azul claro.

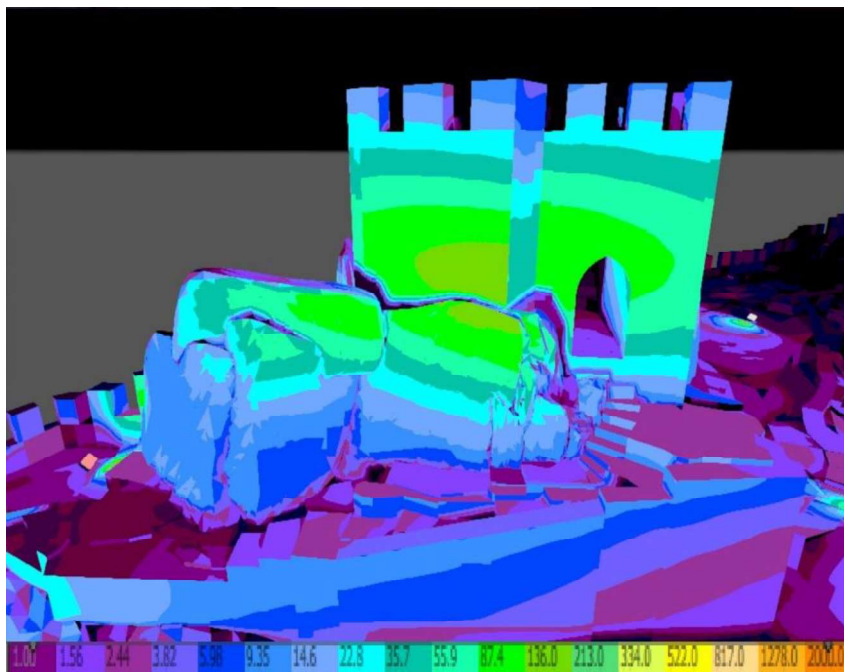


Figura 5.25. Diagrama de cores falsas da zona de passagem do Castelejo, cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Nas superfícies do Castelejo a que se pretende dar destaque é requerido uma iluminância média de 100-200 lux (tonalidade verde) de forma a criar o realce necessário para que o Castelejo se sobressaia no interior do Castelo utilizando também uma cor azul para este efeito, ver Figura 5.26. Os projetores de cor azul são dotados da tecnologia LED RGB, capaz de criar imagens dinâmicas ou estáticas nas superfícies e variações de cores embora o seu custo seja maior.

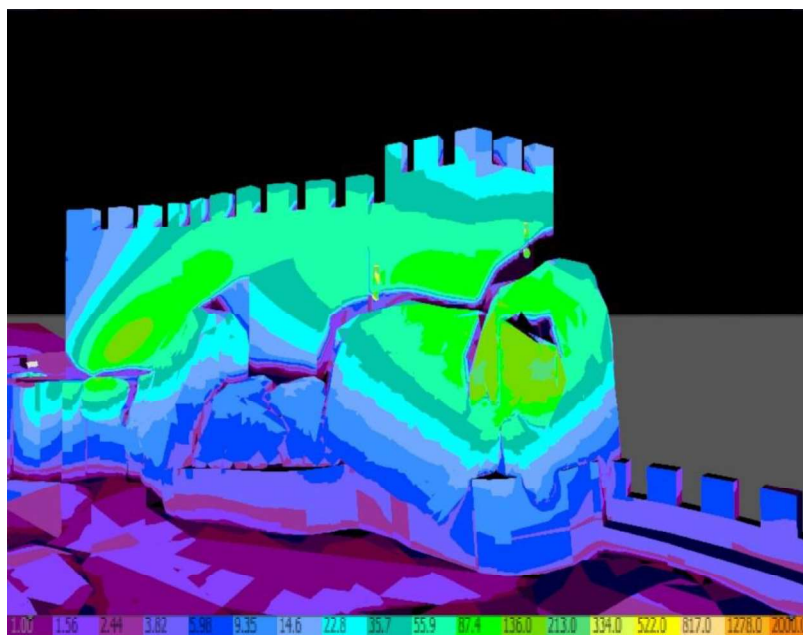


Figura 5.26. Diagrama de cores falsas das muralhas do Castelejo, cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

A zona do Jardim do Castelejo não foi levada em conta uma vez que foi comunicado ao autor que a iluminação dos caminhos à volta da muralha já estava a ser estudada e implementada, sendo a quantidade de luz destas luminárias suficiente para a circulação dos ocupantes.

5.1.4.2 Igreja Paroquial e espaço circundante

A Igreja paroquial de S. Miguel não era dotada de qualquer tipo de iluminação, pelo que o caminho de circulação à sua volta estava praticamente às escuras, principalmente na zona frontal da igreja.

Tentou-se então criar a iluminação necessária para a circulação dos ocupantes através da iluminação da fachada frontal da igreja. Representando uma iluminação arquitetural e de embelezamento do edifício. Ver Figura 5.27 e 5.28.



Figura 5.27. Simulação do cenário 1 na Igreja Paroquial, vista frontal (DialuxEvo, 2017)



Figura 5.28. Simulação do cenário 1 na Igreja Paroquial, vista do solo (DialuxEvo, 2017)

Implementou-se uma iluminação ascendente e localizada, diferente da utilizada no Castelejo, por ser um edifício mais moderno. O objetivo foi mostrar exatamente essa diferença, uma arquitetura moderna da igreja com o contraste da típica muralha dos castelos Portugueses do Castelejo. Foi criado ainda um contraste laranja de dentro da torre da igreja para fora criando um efeito bastante apelativo nos sinos da igreja e à vista humana.

Ao fim de várias tentativas foi possível obter um valor médio de 10 lux (tonalidade azul) no solo da parte frontal da igreja, de modo aos ocupantes circularem de forma segura como é possível observar na Figura 5.29. O restante trajeto é assegurado pela iluminação do ramal dos caminhos de circulação.

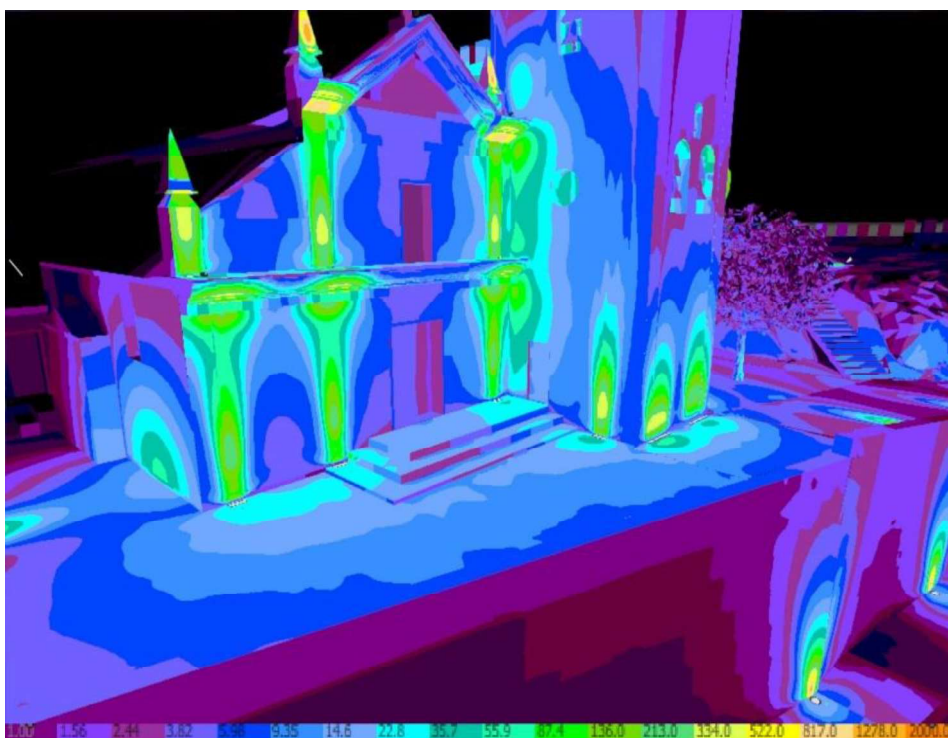


Figura 5.29. Diagrama de cores falsas da zona de circulação da Igreja Paroquial, cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Na fachada frontal da Igreja, tal como no Castelejo, são pretendidos valores na casa dos 100-200 lux (tonalidade verde) de forma a sobressair perante todo o resto como é possível observar na Figura 5.30.

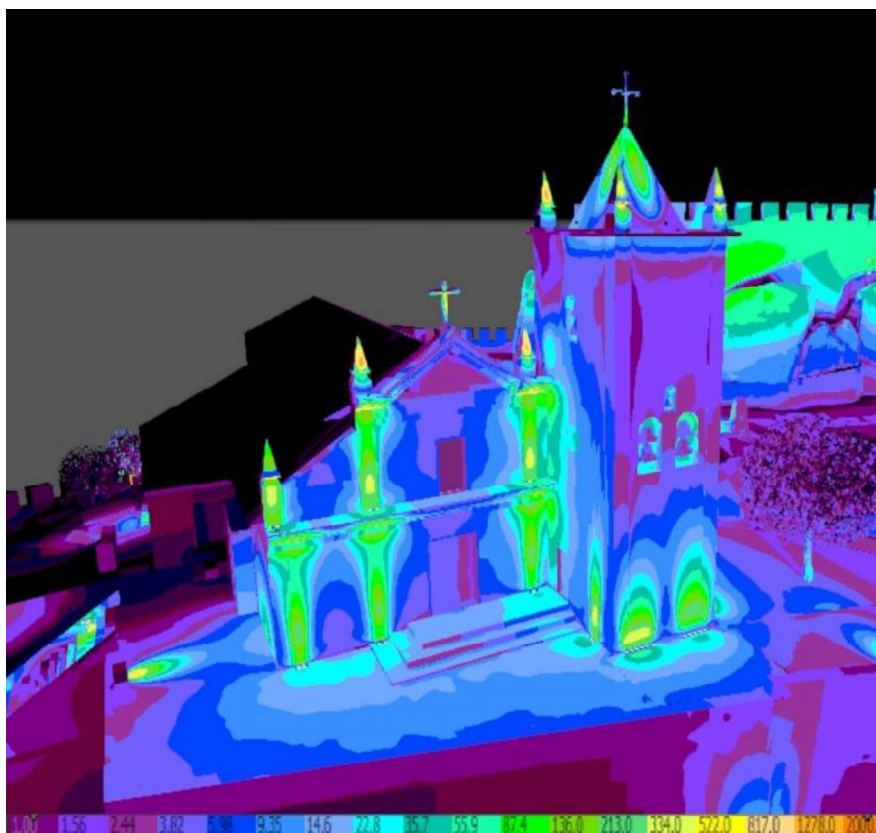


Figura 5.30. Diagrama de cores falsas da fachada da Igreja Paroquial, cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Neste caso é evidente o aumento de consumo do sistema de iluminação do interior do Castelo de Penela uma vez que não existia qualquer tipo de iluminação nesta zona. Pode-se concluir que é uma mais-valia para todos aqueles que queiram visitar o Castelo, pois torna bastante apelativo e chamativo a iluminação aqui realizada. Para além disso, a zona de circulação à volta da igreja fica iluminada de forma segura e normalizada.

5.1.4.3 Caminhos Pedestres e de Circulação

Na iluminação destas zonas apenas se complementou o sistema existente, ou seja, mudou-se as luminárias utilizadas e em certos locais acrescentou-se pontos de luz onde existia algum défice de iluminação e de homogeneidade.

Para a iluminação das zonas pedestres e de circulação é necessário respeitar certos valores impostos pela norma EN 12464-2.

Na entrada do Castelo substituiu-se as luminárias atuais por luminárias LED, embora o espaçamento entre os pontos de luz não seja o mais adequado manteve-se a instalação atual de modo a não ter que criar novos orifícios no muro existente e reparar os atuais. Deste modo, os valores normalizados são cumpridos à mesma apenas temos alguns pontos escuros entre algumas luminárias como é possível observar na Figura 5.31 e 5.32.



Figura 5.31. Simulação do cenário 1, entrada do Castelo (DialuxEvo, 2017)

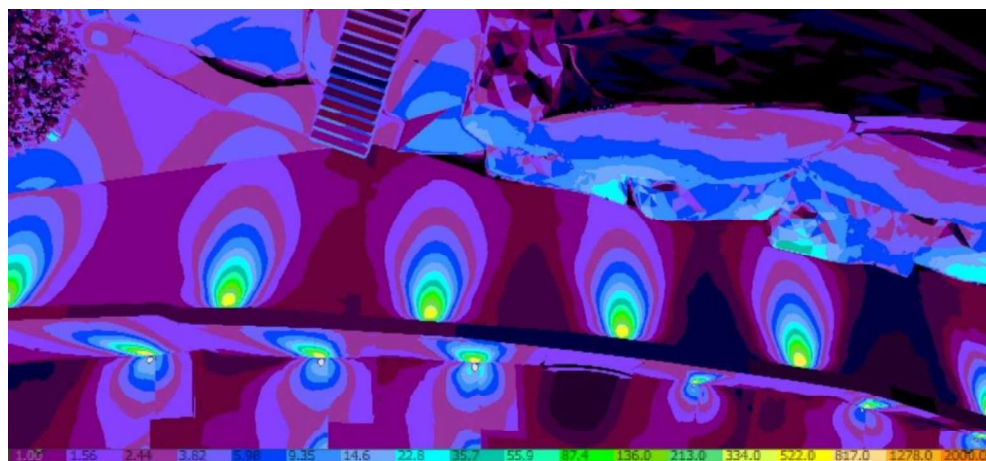


Figura 5.32. Diagrama de Cores falsas dos caminhos de circulação, entrada do Castelo cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Na zona Este do Castelo, na parte de trás da igreja, são utilizados projetores de 70 W para iluminar um jardim e caminho de circulação, pelo que, a intervenção nesta zona passou por mudar o tipo de luminária e o tipo de iluminação. Deste modo, passamos a ter uma iluminação ascendente capaz de criar a iluminância necessária à passagem dos ocupantes e uma redução da potência das luminárias de 70 W para 12 W, sendo uma medida bem mais económica e a ter em conta. A Figura 5.33 representa a iluminação proposta do espaço em questão.



Figura 5.33. Simulação do cenário 1, contorno da Igreja (DialuxEvo, 2017)

Pela análise da Figura 5.34 é possível observar os valores normalizados de 5/10 lux para esta zona, através da tonalidade roxa e azul claro, em vez dos 50 lux aqui presentes com a iluminação atual.

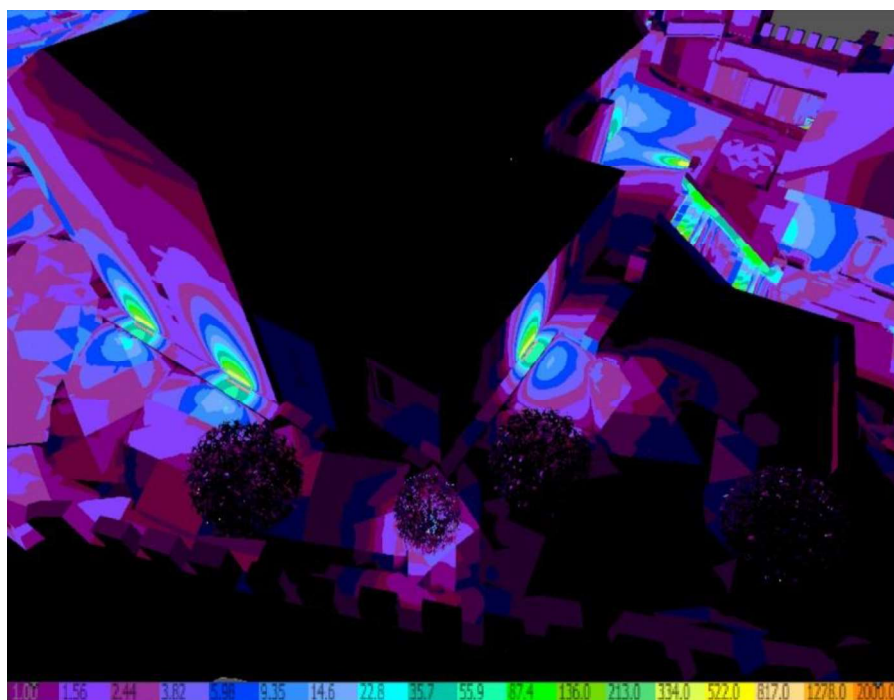


Figura 5.34. Diagrama de Cores falsas dos caminhos de circulação, contorno da Igreja cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Por fim, existe a zona de acesso à casa paroquial, que também tem ligação à vila de Penela. Nesta zona é notável um grande défice de iluminação com a iluminação atual, complementou-se o sistema atual através da criação de mais quatro pontos de luz, dois referentes à porta da traição (Figura 5.36) e outros dois ao jardim da casa paroquial (Figura 5.35).



Figura 5.35. Simulação do cenário 1, caminhos de circulação zona Norte (DialuxEvo, 2017)



Figura 5.36. Simulação do cenário 1, caminhos de circulação Porta da Traição (DialuxEvo, 2017)

Uma vez que neste local se encontra a casa paroquial que é atualmente habitada, o autor apenas colocou as luminárias necessárias à passagem das pessoas de modo a também não prejudicar as horas de repouso do ocupante, resultando em alguma falta de homogeneidade, mas que, no entanto, é bem melhor que a iluminação atual, cumprindo os valores normalizados de iluminância. Na Figura 5.37 é possível observar o diagrama de cores falsas do lado Norte do Castelo.

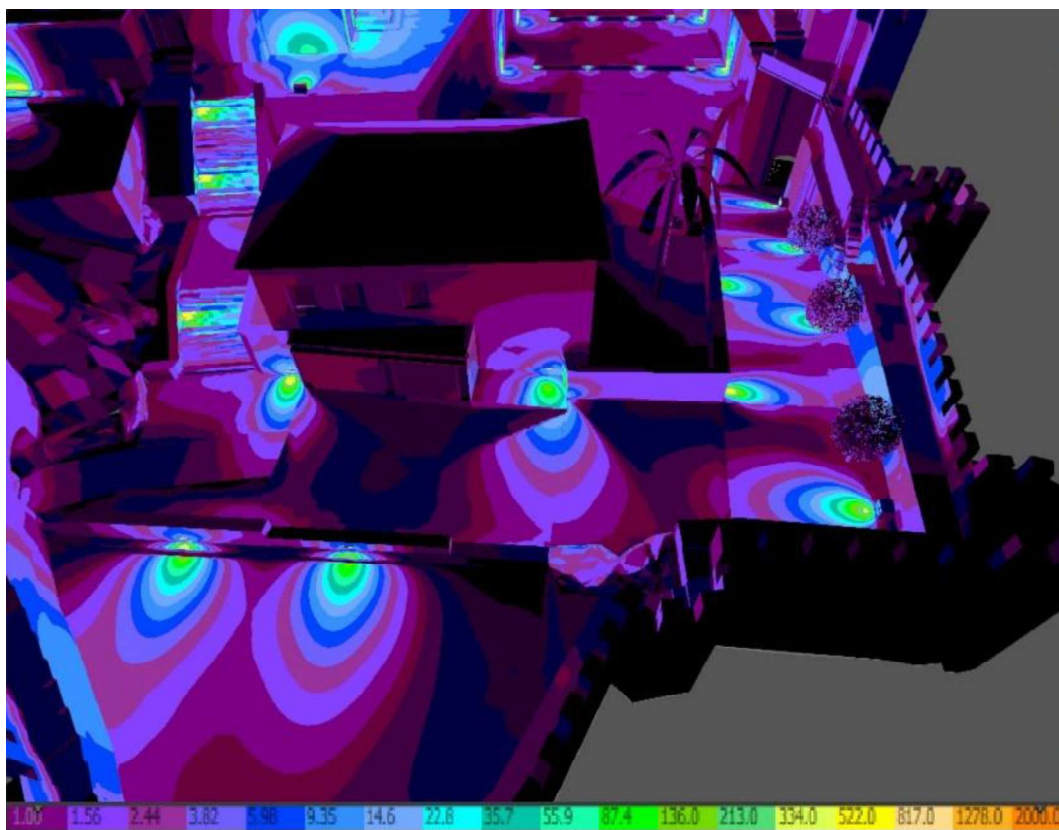


Figura 5.37. Diagrama de Cores falsas dos caminhos de circulação, zona Norte cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

5.1.4.4 Espaço do Anfiteatro

Neste espaço a intervenção passa pela criação de um ramal completamente novo desde condutas e cabos a proteções e luminárias. Os projetores de alta potência instalados na estrutura das árvores aqui presentes passam a luminárias LED de 5 W e 21 W encastradas no solo, proporcionando assim um sistema muito mais seguro aos utilizadores e bem mais eficiente.

Nas Figuras 5.38 e 5.39 observamos o espaço simulado com a iluminação proposta do cenário 1.



Figura 5.38. Simulação do cenário 1, Anfiteatro vista aérea (DialuxEvo, 2017)

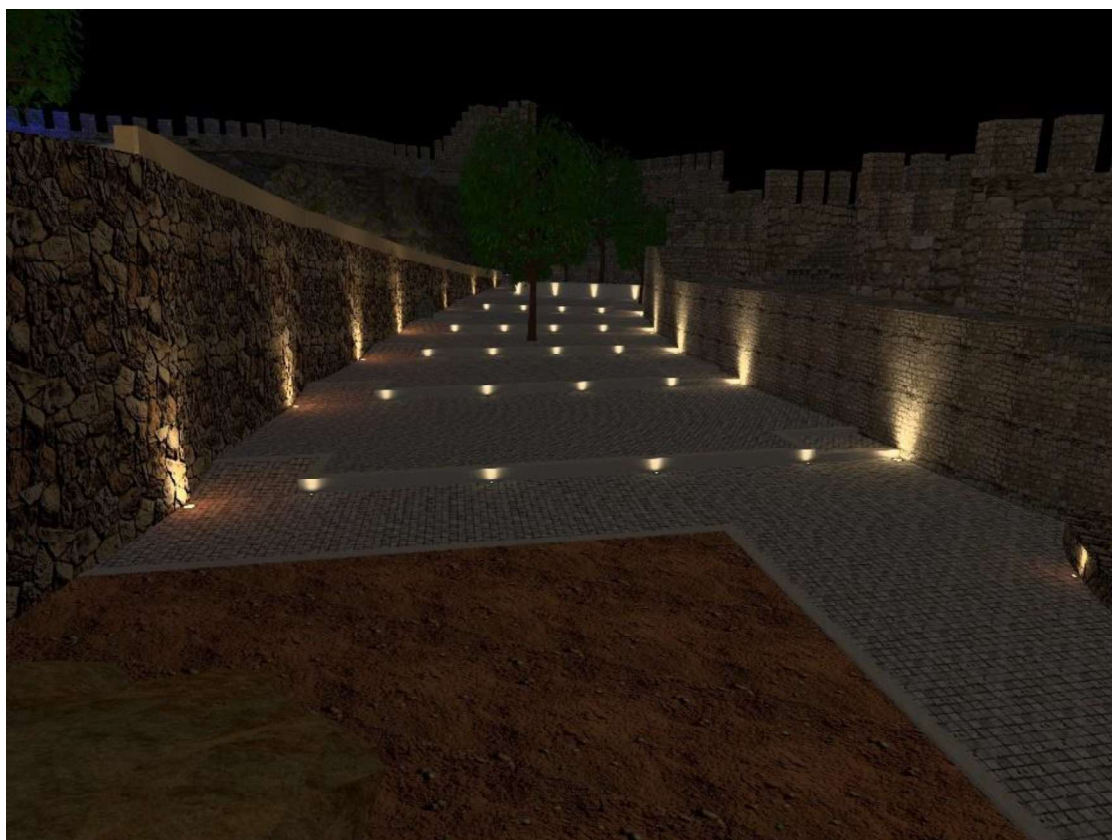


Figura 5.39. Simulação do cenário 1, Anfiteatro vista lado Norte (DialuxEvo, 2017)

Pela análise da Figura 5.40 que representa o diagrama de cores falsas do Anfiteatro com a iluminação proposta, é notável a redução de iluminâncias médias superiores a 200 lux para os 5/10 lux, valor normalizado necessário nesta zona. Diminuindo também a potência consumida.

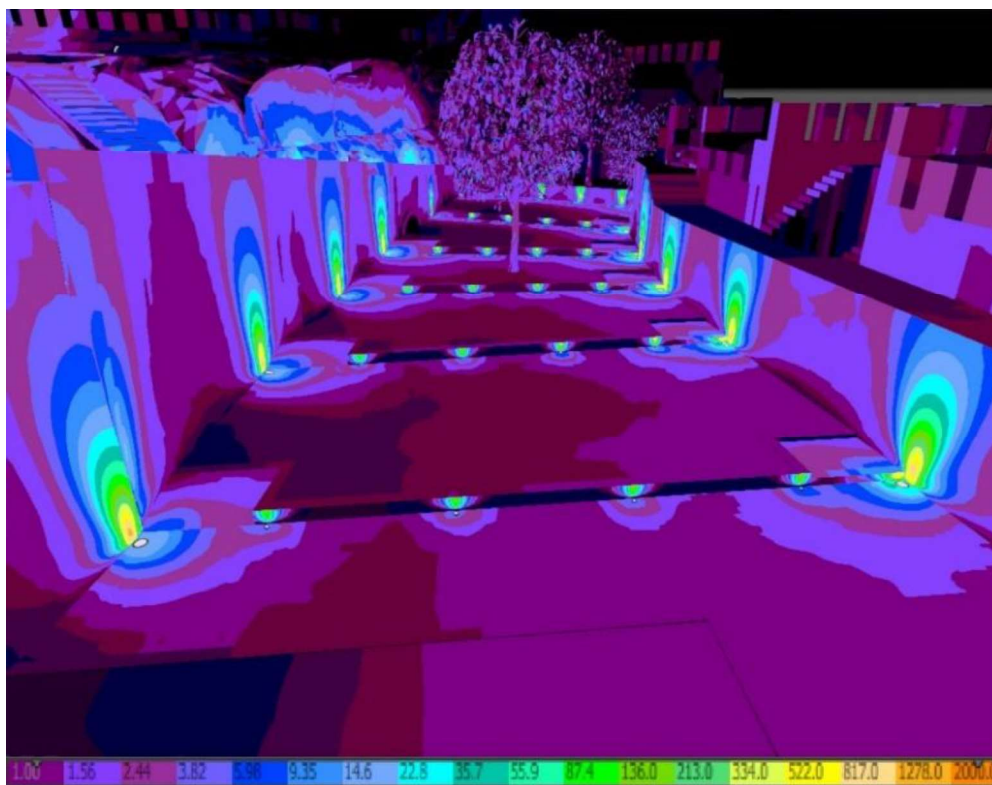


Figura 5.40. Diagrama de Cores falsas do Anfiteatro, zona Norte cenário 1 (DialuxEvo, 2017)

Relativamente ao espaço da realização do Presépio de Penela, localizado no fim do espaço do Anfiteatro, o autor não considerou para os resultados uma vez que as tendas aqui colocadas nessa época do ano são dotadas já de alguma iluminação, sendo apenas necessário iluminar o caminho de uma forma segura para os visitantes. Desta forma a iluminação aqui realizada foi do tipo localizada e pontual para que seja de percepção rápida e segura para todos os obstáculos aqui presentes.

5.2. Cenário 2: Novo sistema de iluminação com LED - diferentes fabricantes

Devido ao facto dos resultados económicos do ponto anterior não se revelarem os melhores, foi realizada uma pesquisa de luminárias equivalentes e semelhantes às inicialmente propostas, mas de outros fabricantes, de modo a que o investimento inicial do projeto seja menor. Foi feita uma pesquisa de empresas que pudessem ir de encontro ao material necessário, foi contactado um fabricante com especialização em luminárias encastráveis LED (Tromilux, 2017), outras duas empresas semelhantes e do mesmo tipo que a empresa SCHRÉDER® (Primelux, 2017) e ainda um fornecedor de luminárias LED *online* (EfectoLed, 2017).

Neste cenário os resultados luminotécnicos simulados e de dimensionamento da instalação são iguais aos do primeiro cenário. É feita uma análise económica e energética com os dados das luminárias escolhidas de outros fabricantes.

No Anexo IV nas Folhas Nº 02 a 06 encontram-se as plantas 2D com as implementações necessárias do segundo cenário.

5.2.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas

As principais características a respeitar na escolha das luminárias são: Potência [W]; cor da luz e índice de restituição de cor (3000 - 3500 K, IRC = 80, branco quente); Fluxo Luminoso [lm]; dimensões físicas e índices de proteção (IP65 e IK08);

As características Técnicas das luminárias inicialmente selecionadas encontram-se no fim do Anexo IV – Cenário 1.

Relativamente às luminárias que encontram no Castelejo não foram encontradas boas opções com a tecnologia RGB incorporada, pelo que para as luminárias em que é necessário este tipo de tecnologia optou-se por manter as inicialmente escolhidas.

Na Tabela 5.4 encontram-se as luminárias dos diferentes fabricantes, sendo que as células com a cor verde dizem respeito às luminárias selecionadas para este cenário.

Tabela 5.4. Fabricantes e Luminárias selecionados para o cenário 2

Schröder			Primelux			Quantidade
Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	
SculpDot 35 W	RGB laranja	495	Oslo 30 W	RGB	79	2
SculpLine 2 1000 mm	Branco Quente	895	Atrium 1000 mm	Branco Quente	77,49	7
Trasso 1 14 W	Branco Quente	450				27
Enyo 5 W Superficial	Branco Quente	165				19
SculpFlood 66 W	Branco Quente	750	OSLO 50 W	Branco Quente	61,37	1
	RGB Azul	825				1
SculpFlood 166 W	Branco Quente	1.350				2
	RGB Azul	1.500				1
Terra Midi 21 W	Branco Quente	695	Solum 18 W	Branco Quente	211,56	11
Ponto 5 W	Branco Quente	120	Solum 6 W	Branco Quente	92,62	36

Tromilux			EfectoLed			Quantidade
Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	
			Epistar 30 W	RGB	32,95	2
Série 3065 930 mm	Branco Quente	279,1				7
Série 3064 12 W	Branco Quente	98,86				27
			Foco Superfície 7 W	RGB	22,95	19
			LED Slim Pro 60 W	Branco Quente	79,95	1
			LED Elegance 50 W	RGB	69,95	1
			LED SMD 150 W	Branco Quente	124,95	2
						1
Série 3022 22 W	Branco Quente	183,1				11
Série 3014 5 W	Branco Quente	40,6	Foco encastrar no chão 6 W	Branco Quente	39,95	36

5.2.2 Análise Energética e Económica

Devido à potência de algumas luminárias não serem exatamente iguais às inicialmente selecionadas, foi necessário efetuar uma análise energética de modo a termos o consumo anual do sistema e a respetiva redução de consumos.

Para isso foi necessário efetuar uma tabela de cálculo com os consumos de cada tipo de luminária em cada mês do ano, utilizando os valores das novas luminárias selecionadas de diferentes fabricantes.

De acordo com as Equações 4.1 e 4.3, obtiveram-se os seguintes valores de consumo para o segundo cenário (Tabela 5.5).

Tabela 5.5. Consumo Mensal do Interior do Castelo com o cenário 2 de diferentes fabricantes, por tipo de luminária

Tipo de luminária	Consumo Mensal [kWh]												Consumo anual por tipo de luminária [kWh]	Custo anual por tipo de luminária [€]
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Epistar 30 W	24	23	24	16	17	16	17	17	16	17	23	24	234	39
Série 3065 21 W	59	54	59	40	41	40	41	41	40	41	57	59	574	95
Série 3064 12 W	131	122	131	87	90	87	90	90	87	90	126	131	1.264	210
Foco Superfície 7 W	54	51	54	36	37	36	37	37	36	37	53	54	519	86
Slim Pro 60 W	24	23	24	16	17	16	17	17	16	17	23	24	234	39
Schröder Sculp Flood 60	27	25	27	18	18	18	18	18	18	18	26	27	257	43
Efectoled SMW 150 W	121	113	121	81	84	81	84	84	81	84	117	121	1.171	194
Schröder Sculp Flood 150	66	61	66	44	46	44	46	46	44	46	64	66	640	106
Série 3022 22 W	9	8	9	6	6	6	6	6	6	6	9	9	86	14
Série 3022 22W (Anfi.)	26							30				88	144	24
Série 3014 5 W (Anfi)	21							24				73	118	19
Total													5.241	869

A Tabela 5.6 é o resumo da anterior onde estão os custos, consumos e emissões de CO₂ anuais com o segundo cenário a e ainda os mesmos valores relativos à iluminação atual de forma a serem comparados. Para este quadro foi utilizada a Equação 4.2.

Tabela 5.6. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entra a Iluminação Atual e o cenário 2

	Potência Instalada [W]	Consumo Anual [kWh/ano]	Emissões de CO ₂ [tonCO ₂ /ano]	Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Atual	4.671	8.767,7	4,12	2.103,4
Iluminação Cenário 2	1.676	5.241,0	2,46	1.379,4

Os valores a reter encontram-se na Tabela 5.7 que dizem respeito às reduções possíveis quer de consumo quer de custos com a implementação do segundo cenário, quando comparada aos valores da iluminação existente.

Tabela 5.7. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 2

	Redução de Consumo Anual [kWh/ano]	Redução de CO ₂ Anual [tonCO ₂ /ano]	Redução de Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Cenário 2	3.526,7	1,66	724

Estes valores quando comparados aos da marca SCHRÉDER® (cenário 1) são praticamente idênticos uma vez que as potências das luminárias e quantidade das mesmas são praticamente iguais. O gráfico de consumo do sistema ao longo do ano é idêntico ao da Figura 5.18.

Em termos de avaliação económica o tempo de retorno do investimento inicial é de 17 anos com um investimento inicial de aproximadamente 11.840 €, sem contar com os custos de obra e manutenção e apenas com uma redução de custos de fatura anual de aproximadamente 724 €/ano, ver Anexo III – Cenário 2.

A utilização de vários fabricantes permitiu reduzir em mais de 25.000 € o investimento inicial do projeto, sendo esta uma medida favorável.

5.3. Cenário 3: Iluminação LED com os pontos de luz existentes - SCHRÉDER

Nesta fase o autor teve em conta o investimento inicial do projeto e os custos de obra relacionados com as melhorias propostas no primeiro cenário. Deste modo foi possível obter uma maior redução de consumos e de custos com a iluminação interior do Castelo quando comparada à iluminação atual e ao primeiro cenário, foram ainda retirados certos pormenores na instalação do sistema. Estes dois fatores juntos permitem reduzir bastante o tempo de retorno de investimento.

Os pontos de luz do segundo cenário restringem-se um pouco aos pontos já existentes, criando apenas novos pontos de luz onde fosse estritamente necessário de modo a cumprir os valores normalizados. Foi apenas criado um novo circuito no Anfiteatro pois como já referenciado no capítulo quatro, o sistema atual tem um consumo energético elevadíssimo e apresenta riscos de segurança para os utilizadores.

O objetivo desta medida passa então por oferecer uma maior redução na fatura energética e de reduções de consumos mas, também uma boa uniformidade de iluminação, bem como níveis de iluminância média normalizados, mantendo o realce e destaque elaborado na edificação do Castelejo no primeiro cenário.

5.3.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas

A lista de Luminárias utilizadas bem como as suas características técnicas encontram-se no fim do Anexo IV – Cenário 3.

5.3.1.1 Ramal dos Caminhos de Circulação

Neste ramal pretende-se uma boa uniformidade de iluminação e níveis de iluminância média normalizados, de forma aos ocupantes circularem sem qualquer tipo de desconforto e problema. Tornou-se necessário a criação de novos pontos de luz na zona frontal da igreja paroquial e no contorno da mesma alterando o tipo de luminária e de iluminação aqui utilizada.

As Luminárias aqui utilizadas já foram apresentadas na secção do primeiro cenário, sendo elas as seguintes ou de marcas equivalentes no mercado:

- Marca SCHRÉDER®, modelo TRASSO1 / 11 LEDS 350 mA WW (Figura 5.1) total de 24 luminárias utilizadas;
- Marca SCHRÉDER®, modelo ENYO / 3 LEDS 350 mA WW (Figura 5.3) uma luminária utilizada na Porta da Traição;

5.3.1.2 Ramal do Castelejo

Neste ramal manteve-se a ideia criada no primeiro cenário, à exceção da iluminação dos pormenores do interior do Castelejo pelo facto de representarem uma parcela significativa no investimento do projeto. Foi necessário na mesma a criação de um novo ponto de luz na zona Este do Castelejo devido a estar deficientemente iluminado. Neste cenário utilizaram-se apenas luminárias de cor estática, esquecendo a tecnologia LED RGB que torna o investimento inicial maior.

As Luminárias aqui utilizadas já foram apresentadas na secção do primeiro cenário, sendo elas as seguintes ou de marcas equivalentes no mercado:

- Marca SCHRÉDER®, modelo SCULPFLOOD 150 / 96 LEDS 500 mA WW (Figura 5.5) três luminárias utilizadas em que uma contém uma cor estática;
- Marca SCHRÉDER®, modelo SCULPFLOOD 60 / 32 LEDS 600 mA WW (Figura 5.6) duas luminárias utilizadas, uma delas com cor estática;

5.3.1.3 Ramal do Anfiteatro

O Anfiteatro é uma das zonas que se encontra sobredimensionada, com níveis de iluminância média elevados para aquilo que realmente é preciso. Foram selecionadas para esta zona luminárias para iluminação rasante de modo a deixar bem visível o contorno dos degraus aqui presentes, bem como as árvores e obstáculos. Esta zona serve essencialmente como passagem para os visitantes durante o Presépio de Penela.

As Luminárias aqui selecionadas já foram apresentadas na secção do primeiro cenário, sendo elas as seguintes ou de marcas equivalentes no mercado:

- Marca SCHRÉDER®, modelo TERRA MIDI LED / 16 LEDS / 350 mA (Figura 5.11) dez luminárias utilizadas;
- Marca SCHRÉDER®, modelo PONTO / 3 LEDS / 350 mA (Figura 5.12) trinta e três luminárias utilizadas;

5.3.2 Dimensionamento dos novos Circuitos de Iluminação

Neste cenário apenas foi necessário dimensionar o tipo de cabo e canalização para o ramal do Anfiteatro. Nos restantes ramais o objetivo é utilizar as canalizações e cabos existentes se estes se encontrarem em boas condições físicas e se cumprirem os critérios de aquecimento e quedas de tensão.

No Anexo IV nas Folhas Nº 7 a 9 é possível observar as plantas 2D do Castelo com as novas implementações, desde o novo circuito criado no Anfiteatro, a complementação dos circuitos atuais, as proteções a ter em conta no armário de distribuição e ainda o tipo de cabos e condutas a utilizar no projeto. A verde é representado tudo o que é novo na instalação e a vermelho está representado o que já existe no interior do Castelo.

5.3.2.1 Ramal do Anfiteatro

Para este ramal prevê-se a passagem do cabo por canalização enterrada a implementar e a necessidade de colocar caixas de derivação, representado na Figura 5.41. O ramal tem canalização enterrada em todo o seu comprimento, no sub-ramal dos degraus de entrada do Anfiteatro as luminárias são ligadas em série e no sub-ramal dos patamares do Anfiteatro as luminárias são ligadas em paralelo com a colocação de caixas de derivação.

Este ramal é constituído por 43 luminárias com uma potência total de 375 W.

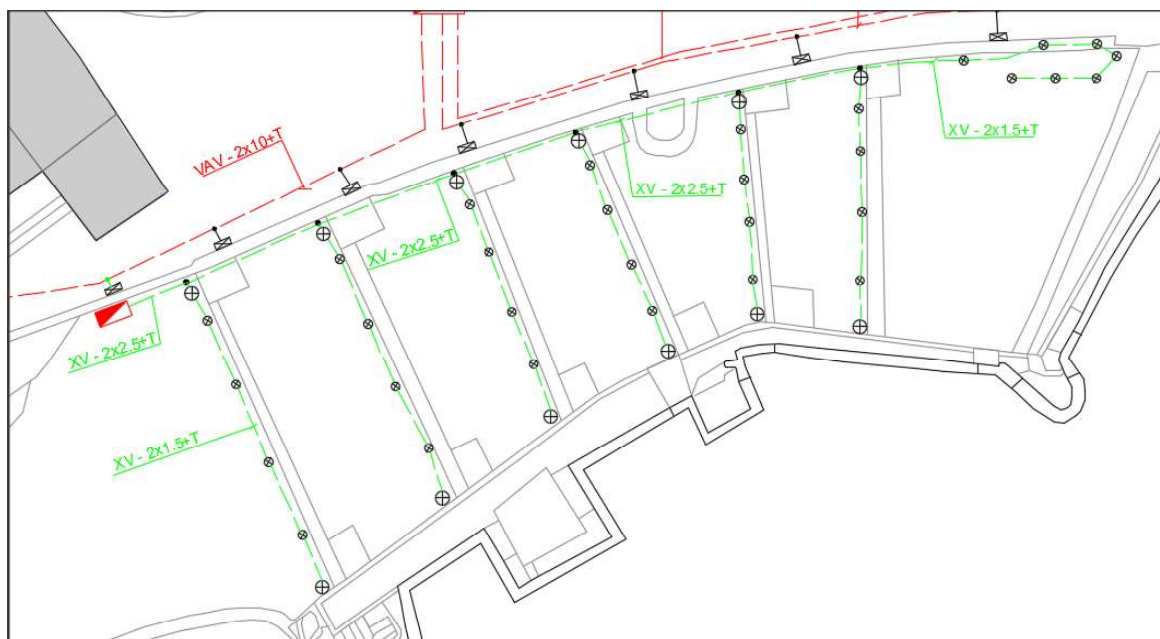


Figura 5.41. Ilustração das canalizações do ramal do Anfiteatro, cenário 3 (Autocad 2016)

Para o dimensionamento do novo ramal foi necessário efetuar uma tabela de cálculo disposta no Anexo II, onde temos os valores das correntes em cada ramal e sub-ramal, utilizando as leis de Kirchhoff e as Equações 5.1 e 5.2 e ainda as potências em cada ponto do circuito.

No dimensionamento foi necessário cumprir os critérios já apresentados seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006).

Para o ramal do Castelejo, os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização Enterrada:** 42 m de cabo XV 2x2.5+T e 110 m de cabo XV 2x1,5+T protegidos por tubo de $\Phi 25$ mm de polietileno articulado para enterrar (tubo tipo JAGRIS c/guia).
- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição secundário e sete caixas de derivação. Necessidade de criação de novo circuito no armário de distribuição.

5.3.2.2 Ramal do Castelejo

Para este ramal prevê-se a utilização da canalização já existente e do mesmo tipo de cabo (cor vermelha) até à zona onde está a nova instalação (cor verde), ver Figura 5.42. O ramal tem canalização enterrada à exceção da última luminária na zona Este que em obra poderá decidir-se por canalização enterrada ou à vista, questão a debater com o arquiteto responsável.

Este ramal é constituído por cinco luminárias com uma potência total de 624 W.

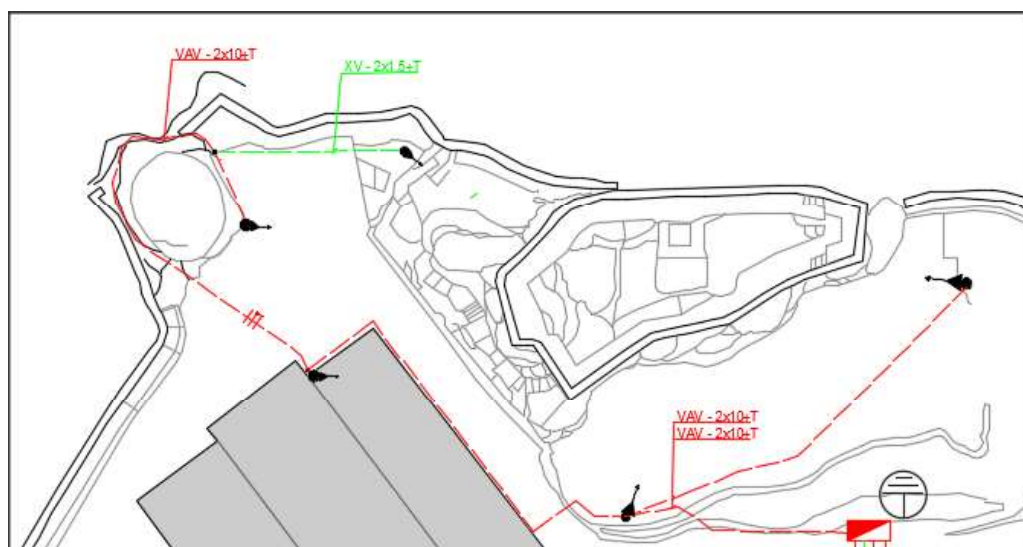


Figura 5.42. Ilustração das canalizações do ramal do Castelejo, cenário 3 (Autocad 2016)

Com a utilização das leis de Kirchhoff e das Equações 5.1 e 5.2 temos a tabela de cálculo no Anexo II para este ramal. No dimensionamento foi necessário cumprir os critérios já apresentados seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006).

Para o ramal do Castelejo os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização enterrada ou à vista:** 16 m de cabo XV 2x1.5+T e 16 m de tubo $\Phi 25$ mm resistente à corrosão e impacto (IP53 e IK08 no mínimo);
- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição principal e uma caixa de derivação.

5.3.2.3 Ramal dos Caminhos de Circulação

Para este ramal prevê-se a utilização da canalização já existente e do mesmo tipo de cabo (cor vermelha) até às zonas onde está a nova instalação (cor verde), ver Figuras 5.43 e 5.44. O ramal tem canalização enterrada à exceção da luminária que se encontram no interior da Porta da Traição, onde se optou por canalização à vista, mas de forma que passe despercebido para não estragar a estética do local, questão a debater com o arquiteto responsável.

Este ramal é constituído por vinte e cinco luminárias com uma potência total no ramal de 341 W.

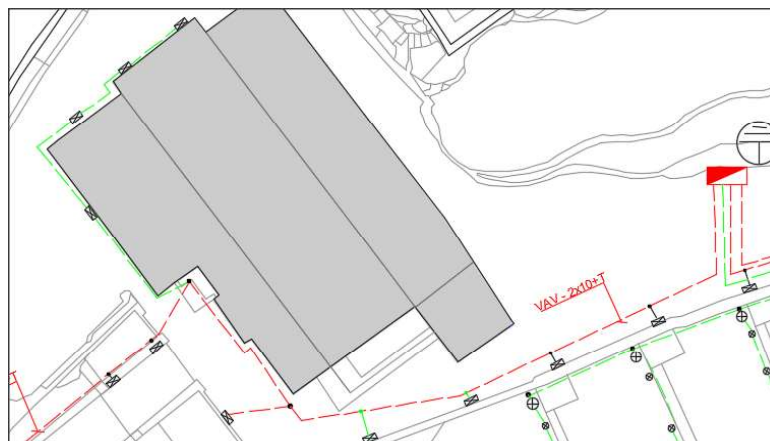


Figura 5.43. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, contorno da Igreja cenário 3 (Autocad 2016)

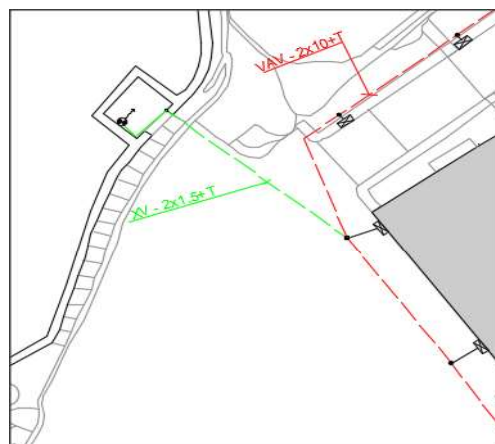


Figura 5.44. Ilustração das canalizações do ramal dos Caminhos de Circulação, Porta da Traição cenário 3 (Autocad 2016)

Com a utilização das leis de Kirchhoff e das Equações 5.1 e 5.2 temos a tabela de cálculo no Anexo II para este ramal. No dimensionamento foi necessário cumprir os critérios já apresentados seguindo sempre as RTIEBT (RTIEBT, 2006).

Para o ramal dos Caminhos de Circulação os requisitos necessários, de acordo com o cálculo efetuado são:

- **Canalização Enterrada:** 20 m de cabo XV 2x1,5+T e 25 m de tubo $\Phi 25$ mm de polietileno articulado para enterrar (tubo tipo JAGRIS c/guia).
- **Canalização à vista:** 5 m de cabo XV 2x1,5+T e 5 m de tubo $\Phi 25$ mm, no interior da porta da traição (tubo tipo VD).

- **Proteções:** Disjuntor de 10 A e interruptor diferencial de 30 mA a instalar no armário de distribuição principal.

5.3.3 Análise Energética e Económica

Este cenário vai de encontro aos objetivos do projeto de redução de custos e de consumos com o sistema de iluminação interior do Castelo. De modo a ir de encontro a estes objetivos, primeiramente tentou-se apresentar uma boa redução de custos e de consumos para que o tempo de retorno do investimento inicial seja aceitável. Deste modo apenas se adicionaram os pontos de luz necessários para cumprir os valores normalizados, esquecendo a iluminação da fachada frontal da Igreja.

Neste cenário passamos então a ter 73 luminárias em vez das 35 atuais. O facto de terem sido utilizadas luminárias com tecnologia LED permitiu que, mesmo aumentando o número de luminárias atuais tenhamos uma boa redução do consumo anual.

Neste ponto apenas é utilizada a marca SCHRÉDER®. De acordo com as Equações 4.1 e 4.3, obteve-se os seguintes valores da instalação proposta (Tabela 5.8).

Tabela 5.8. Consumo Mensal do Interior do Castelo com o cenário 3 Schröder, por tipo de luminária

Tipo de luminária	Consumo Mensal [kWh]												Consumo anual por tipo de luminária [kWh]	Custo anual por tipo de luminária [€]
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Schröder Sculp Flood 60	53	49	53	36	37	36	37	37	36	37	51	53	515	85
Schröder Sculp Flood 150	198	185	198	133	137	133	137	137	133	137	192	198	1.920	318
Schröder Terra Midi	25							28				85	138	23
Schröder Ponto	19							23				66	108	18
Schröder Trasso 1	135	126	135	91	94	91	94	94	91	94	131	135	1.311	218
Schröder Enyo	2,0	1,8	2,0	1,3	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	2,0	2,0	19	3
Total													4.011	665

A Tabela 5.9 é o resumo da anterior onde temos os custos, consumos e emissões de CO₂ anuais com a iluminação do terceiro cenário e ainda os mesmos valores relativos à iluminação atual de forma a serem comparados. Para este quadro foi utilizada a Equação 4.2.

Tabela 5.9. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entra a Iluminação Atual e o cenário 3 Schröder

	Potência Instalada [W]	Consumo Anual [kWh/ano]	Emissões de CO ₂ [tonCO ₂ /ano]	Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Atual	4.671	8.767,7	4,12	2.103,4
Iluminação Cenário 3	1.340	4.011,3	1,88	1.126,9

Na Figura 5.45 é visível a diferença de consumos do sistema atual para o proposto neste cenário, apesar de termos mais pontos de luz. Esta diferença toma valores maiores nos meses em que as luminárias do Anfiteatro estão ligadas, meses de dezembro, janeiro e agosto.

Pode-se concluir que o sistema proposto representa um sistema bem mais eficiente que o atual e o do primeiro cenário, pois com um número superior de luminárias instaladas atualmente foi possível uma redução de custos de quase 1.000 €/ano, no caso do primeiro cenário esta redução toma o valor de 728 €.

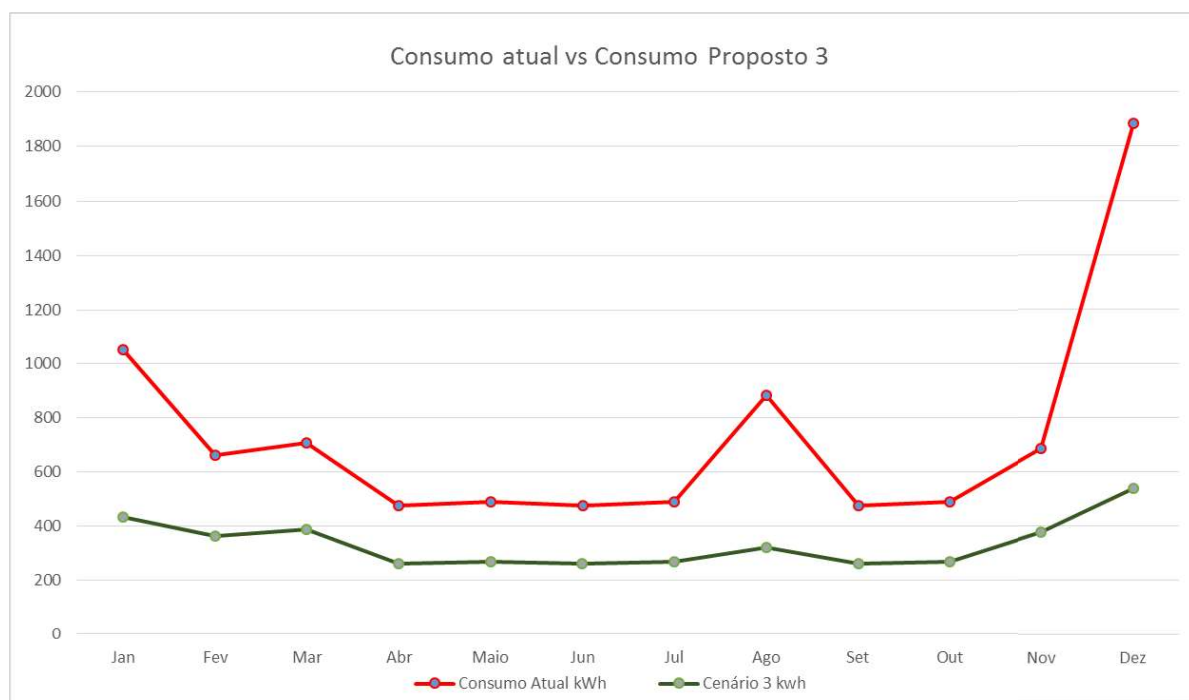


Figura 5.45. Consumos Mensais entre a Iluminação Atual e o cenário 3

Os valores a reter encontram-se na Tabela 5.10 que dizem respeito às reduções possíveis quer de consumo quer de custos com a implementação do terceiro cenário, quando comparada aos valores da iluminação existente.

Tabela 5.10. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com o cenário 3 Schröder

	Redução de Consumo Anual [kWh/ano]	Redução de CO ₂ Anual [tonCO ₂ /ano]	Redução de Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Cenário 3	4.756,7	2,24	976,4

Em termos de avaliação económica o tempo de retorno do investimento inicial é de 29 anos uma vez que estamos a falar de um investimento inicial de 27.722 €, sem contar com os custos de obra e com uma redução de custos de fatura anual de aproximadamente 976 €/ano, todo o cálculo é discriminado no Anexo III – Cenário 3. O valor do *Payback* neste cenário é bem mais aceitável do que no primeiro, no entanto perdemos alguma uniformidade de iluminação.

Como referido no primeiro cenário, os LEDS deste sistema apresentam uma depreciação de fluxo luminoso de 10 % após 60.000 h de funcionamento, ao 15º ano.

Neste sistema a preocupação do autor passou por apresentar valores aceitáveis de redução de consumos e um tempo de retorno do investimento inicial, esquecendo um pouco o realce dado à Igreja paroquial, mas mantendo o realce no Castelejo, que proporcionam uma maior afluência de visitas ao Castelo. No entanto foi possível uma melhoria na uniformidade e qualidade de iluminação pelo interior do Castelo comparativamente ao sistema atual.

5.3.4 Simulação do Cenário 3 com recurso ao DialuxEvo®

Na seguinte secção é abordada a simulação e resultados obtidos com a iluminação do terceiro cenário, utilizando o *software* DialuxEvo® (DialuxEvo, 2017).

Neste caso os pontos de luz restringiram-se aos pontos de luz existentes complementando apenas os circuitos onde fosse necessário de modo a cumprir os valores normalizados. Os resultados demonstram uma boa melhoria na qualidade e quantidade de iluminação quando comparada aos sistema atual.

Foram escolhidas como temperaturas de cor de luz valores na ordem dos 3.000 – 3.500 K que representam a cor branco quente, que permitem criar contraste com as cores do Castelejo e despertar sensações de conforto e bem-estar aos utilizadores.

Na Figura 5.46 e 5.47 são apresentadas vistas gerais do Castelo de Penela com a implementação da iluminação do terceiro cenário, onde é possível constatar uma boa qualidade e uniformidade de luz quando comparada às mesmas imagens da iluminação atual.

De seguida é feita a análise à simulação obtida de acordo com os espaços em estudo.



Figura 5.46. Vista Norte da Simulação da Iluminação do cenário 3 (DialuxEvo, 2017)

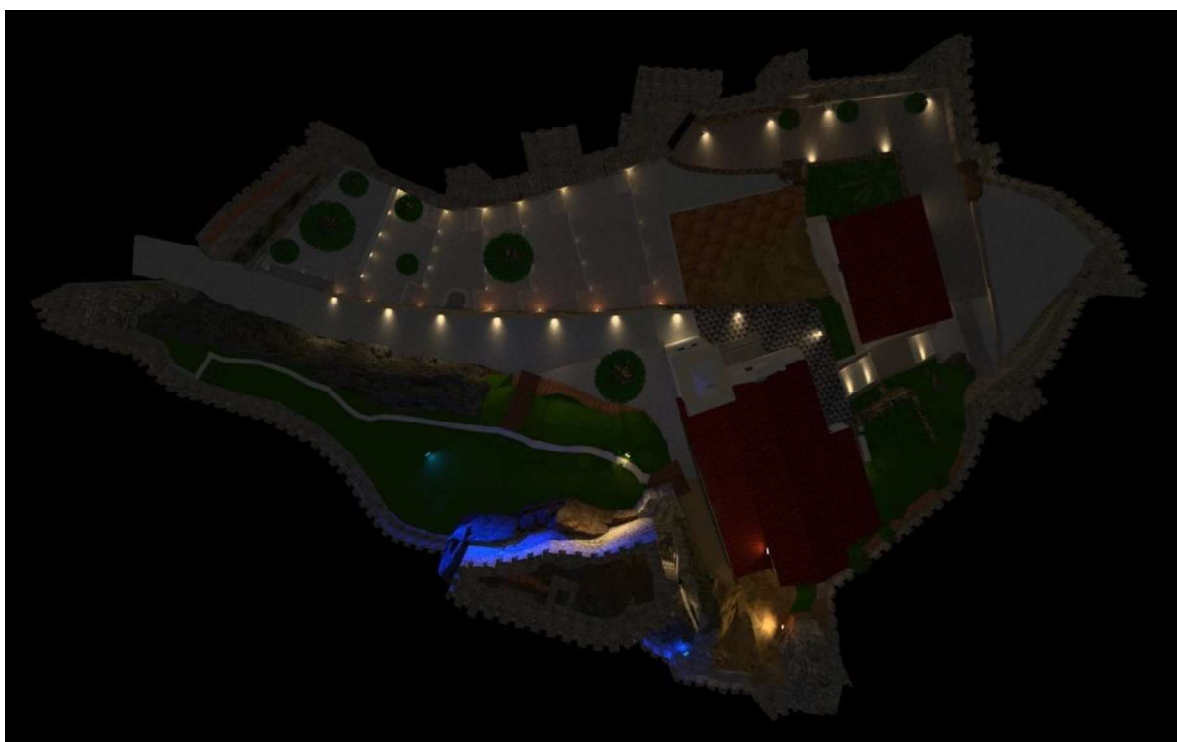


Figura 5.47. Vista Aérea da Simulação da Iluminação do cenário 3 (DialuxEvo, 2017)

5.3.4.1 Espaço do Anfiteatro

Neste espaço a intervenção passa pela criação de um ramal completamente novo desde condutas e cabos a proteções e luminárias. Os projetores de alta potência instalados nas árvores aqui presentes passam a luminárias LED de 5 W e 21 W encastradas no solo.

Neste ramal optou-se pela utilização do armário de distribuição secundário presente neste espaço. Nas Figuras 5.48 e 5.49 observamos o espaço do Anfiteatro simulado no DialuxEvo® com a iluminação do terceiro cenário.

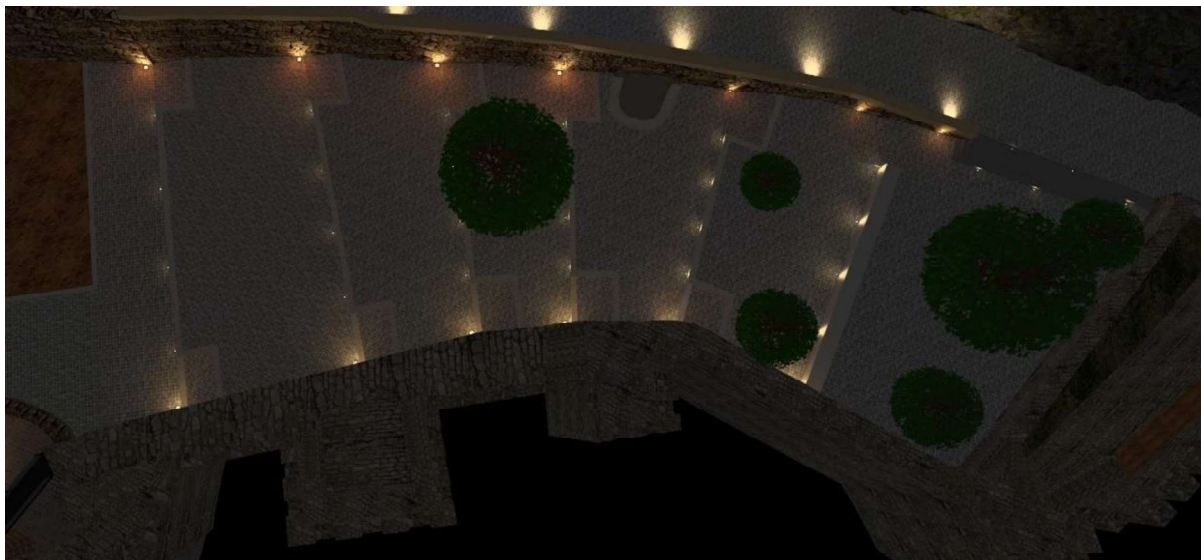


Figura 5.48. Simulação do cenário 3, Anfiteatro vista aérea (DialuxEvo, 2017)

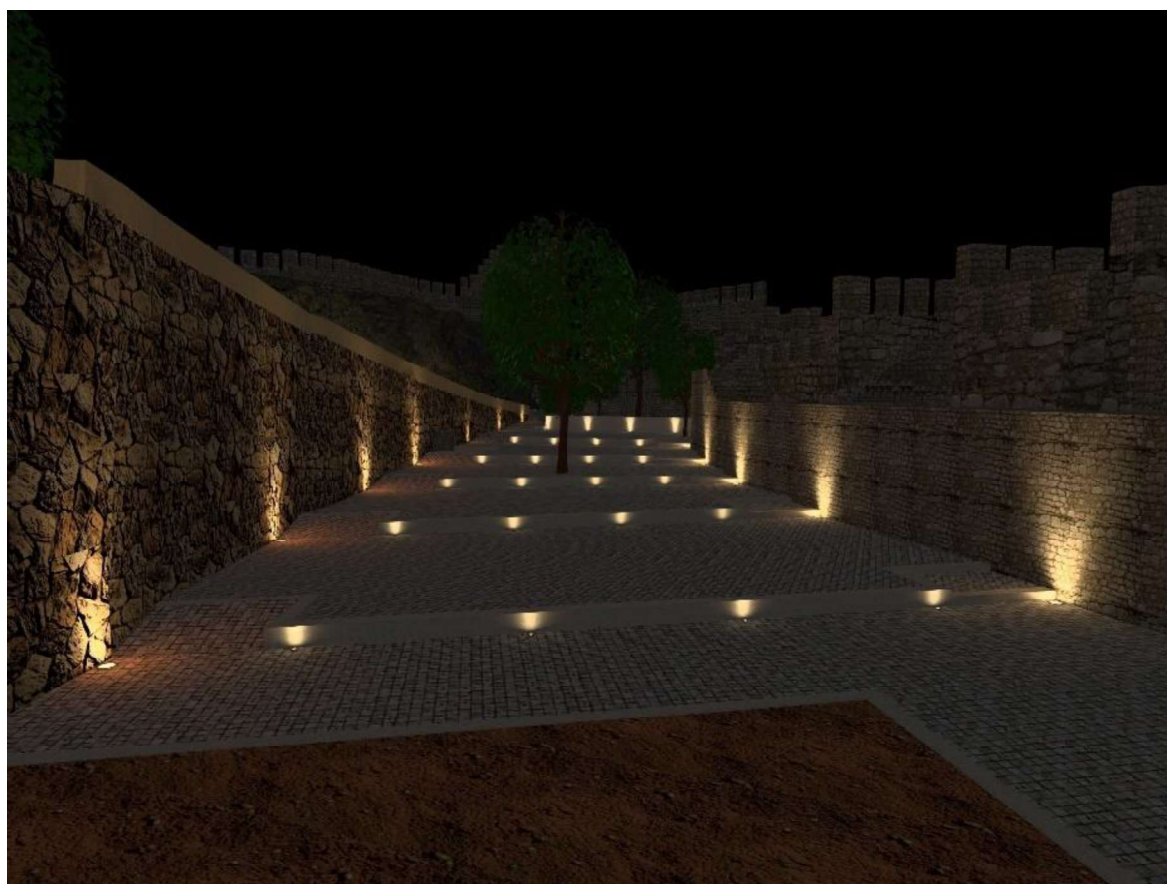


Figura 5.49. Simulação do cenário 3, Anfiteatro vista lado Norte (DialuxEvo, 2017)

Pela análise da Figura 5.50 que representa o diagrama de cores falsas do Anfiteatro com a iluminação do terceiro cenário, é notável a redução de iluminâncias médias superiores a 200 lux para os 5/10 lux, valor normalizado necessário nesta zona, diminuindo também a potência consumida. As diferenças para a proposta do primeiro cenário resumem-se a três pontos de luz desprezados, uma vez que este sistema é muito mais eficiente e que reduziu bastante o consumo de energia comparativamente ao sistema atual, manteve-se as mesmas ideias do primeiro cenário.

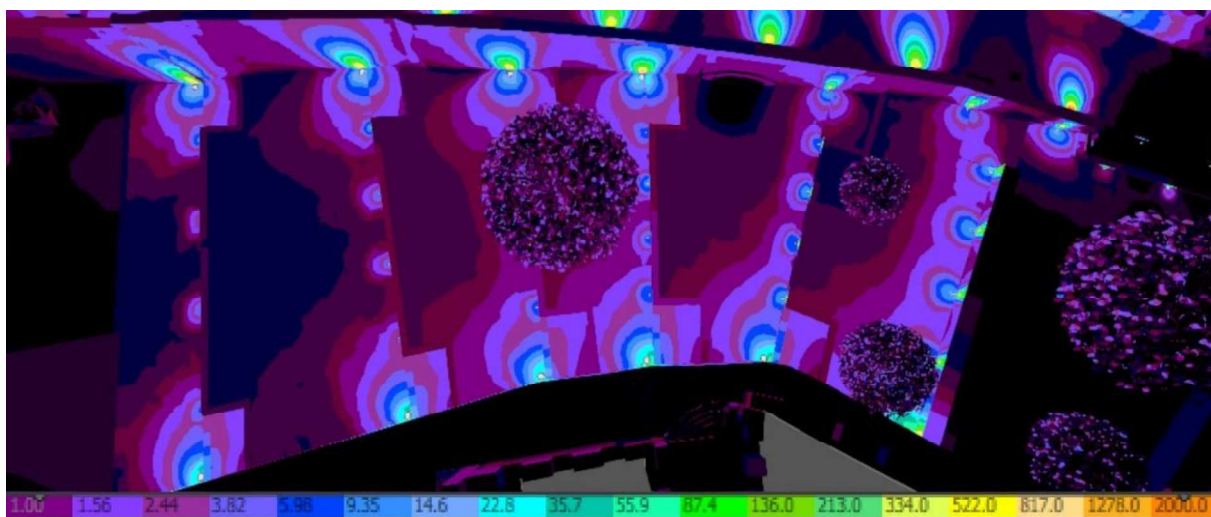


Figura 5.50. Diagrama de Cores falsas do Anfiteatro, zona Norte cenário 3 (DialuxEvo, 2017)

Relativamente ao espaço da realização do Presépio de Penela, localizado no lado Norte do Anfiteatro, não foi considerado para os resultados uma vez que as tendas aqui colocadas nessa época do ano já contêm iluminação.

5.3.4.2 Castelejo e espaço circundante

Como referido no capítulo anterior, o Castelejo apresenta um grande défice de iluminação. Neste ramal manteve-se a ideia do cenário 1 para este espaço, utilizando a canalização existente de forma a não agravar os custos de obra, no entanto, foi necessário criar um novo ponto de luz na zona Este.

Nesta fase, a iluminação dos pormenores das Muralhas do Castelejo é esquecida por representar uma parcela significativa na instalação do sistema.

Nas Figuras 5.51, 5.52 e 5.53 é possível observar a simulação da iluminação do terceiro cenário no espaço do Castelejo. Foi eleita uma cor azul em dois dos projetores pelas mesmas razões referidas no primeiro cenário. O custo da luminária para a cor azul estática é a mesma para outras cores ou para o branco, pelo que a decisão da cor utilizada fica a cargo dos responsáveis do Castelo.

A utilização da tecnologia RGB nas luminárias do Castelejo também fica a cargo dos responsáveis do Castelo, embora para este caso não se tenha tido em consideração esta hipótese de modo a não agravar os custos do projeto, uma vez que este tipo de luminária é mais dispendiosa.



Figura 5.51. Simulação do cenário 3 no Castelejo, vista Sul (DialuxEvo, 2017)



Figura 5.52. Simulação do cenário 3 no Castelejo, Entrada do Castelejo (DialuxEvo, 2017)



Figura 5.53. Simulação do cenário 3 no Castelejo, vista Este (DialuxEvo, 2017)

Os valores médios de iluminância segundo a norma EN 12464-2 para os locais de passagem é de aproximadamente 5-10 lux representada na Figura 5.54 pela tonalidade roxo escuro e azul claro.

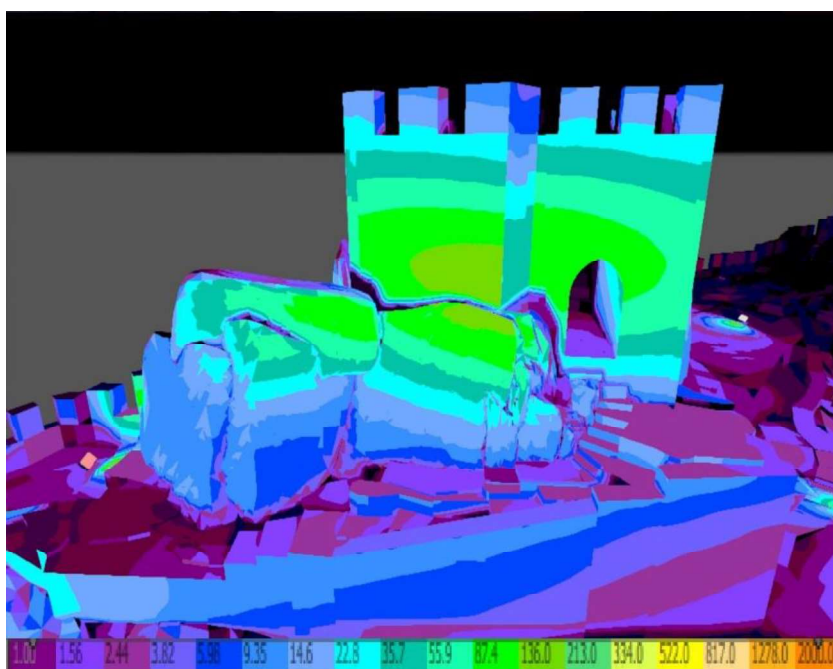


Figura 5.54. Diagrama de cores falsas da zona de passagem do Castelejo, cenário 3 (DialuxEvo, 2017)

Nas superfícies do Castelejo a que se pretende dar destaque é requerido uma iluminância média de 100 - 200 lux (tonalidade verde) de forma a criar o realce necessário para que o Castelejo se sobressaia no interior do Castelo utilizando também uma cor azul para este efeito (ou outra cor), ver Figura 5.55. Neste caso, não se pretende utilizar a tecnologia RGB, pois o custo desta luminária é superior ao de uma igual, mas apenas com cor estática.

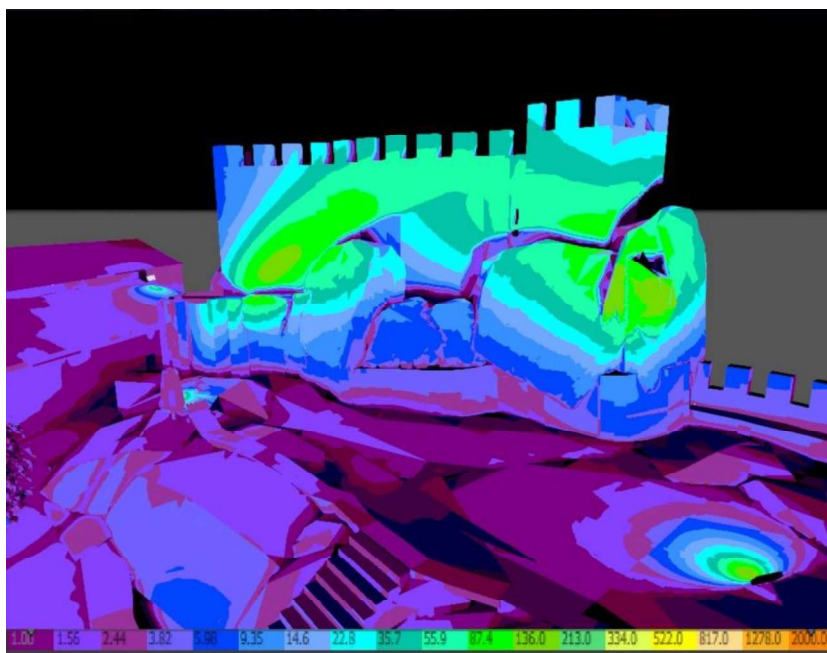


Figura 5.55. Diagrama de cores falsas das muralhas do Castelejo, cenário 3 (DialuxEvo, 2017)

5.3.4.3 Caminhos Pedestres e de Circulação

Na iluminação destas zonas apenas se complementou o sistema existente, ou seja, alterou-se as luminárias utilizadas e em certos locais acrescentou-se pontos de luz onde existia algum défice de iluminação e de homogeneidade.

Para a iluminação das zonas pedestres e de circulação é necessário respeitar certos valores impostos pela norma EN 12464-2.

Na entrada do Castelo apenas foram substituídas as luminárias atuais por luminárias idênticas LED, de modo a utilizar os pontos de luz já existentes. Foi necessário acrescentar pontos de luz na zona frontal da igreja uma vez que neste cenário não temos um ramal dedicado para a iluminação da mesma.

Deste modo os valores normalizados são cumpridos como é possível observar nas Figura 5.56 e 5.57.



Figura 5.56. Simulação do cenário 3, caminhos de circulação entrada do Castelo (DialuxEvo, 2017)

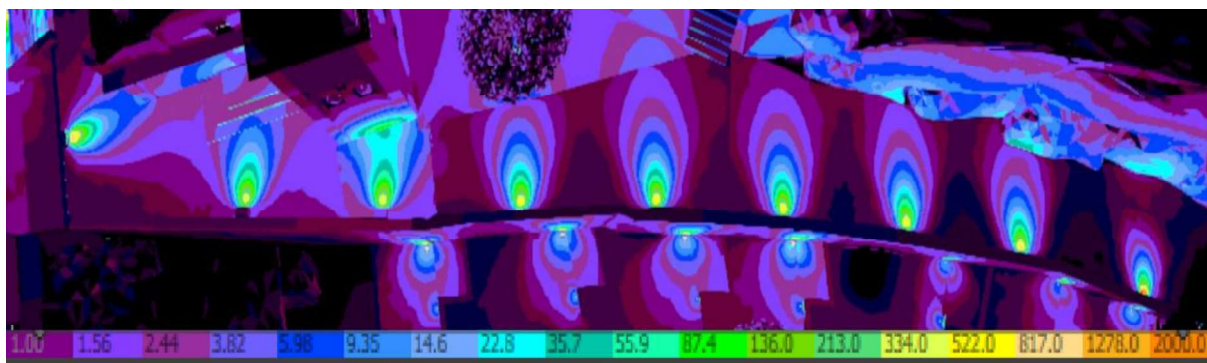


Figura 5.57. Diagrama de Cores falsas dos caminhos de circulação cenário 3, entrada do Castelo (DialuxEvo, 2017)

Na zona Este do Castelo, na parte de trás da Igreja, são utilizados projetores de 70 W para iluminar uma zona de passagem. A intervenção neste caso passou por ter uma iluminação ascendente capaz de criar a iluminância necessária à passagem dos ocupantes e uma redução da potência de 70 W para 14 W, representando uma medida bem mais económica e a ter em conta. A Figura 5.58 representa a iluminação do cenário três para o espaço em questão.



Figura 5.58. Simulação do cenário 3, contorno da Igreja (DialuxEvo, 2017)

Pela análise da Figura 5.59 é possível observar os valores normalizados de 5/10 lux para esta zona através da tonalidade roxa e azul claro em vez dos 50 lux aqui presentes com a iluminação atual.

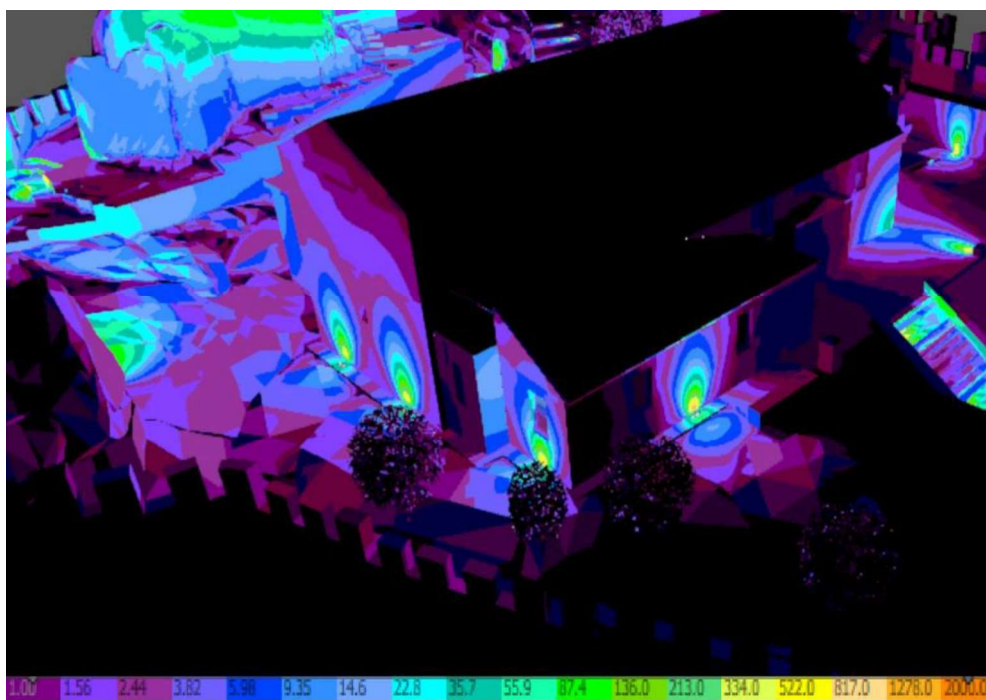


Figura 5.59. Diagrama de Cores falsas dos caminhos de circulação cenário 3, contorno da Igreja (DialuxEvo, 2017)

Por fim, existe a zona de acesso à casa paroquial, que também tem ligação à vila de Penela, ver Figura 5.60. Nesta zona apenas foi criado um novo ponto de luz na porta da traição, uma vez que não existia qualquer tipo de iluminação nesta zona. Relativamente ao espaço do jardim paroquial, uma vez que praticamente não temos ocupantes nesta zona e de forma a reduzir o custo inicial do sistema, optou-se por não adicionar pontos de luz, restringindo-os aos já existentes.



Figura 5.60. Simulação do cenário 3, caminhos de circulação zona Norte (DialuxEvo, 2017)

Como referido anteriormente, nesta zona optou-se pela utilização dos pontos existentes também pelo facto da existência da casa paroquial. Na Figura 5.61 é possível observar o diagrama de cores falsas do lado Norte do Castelo.

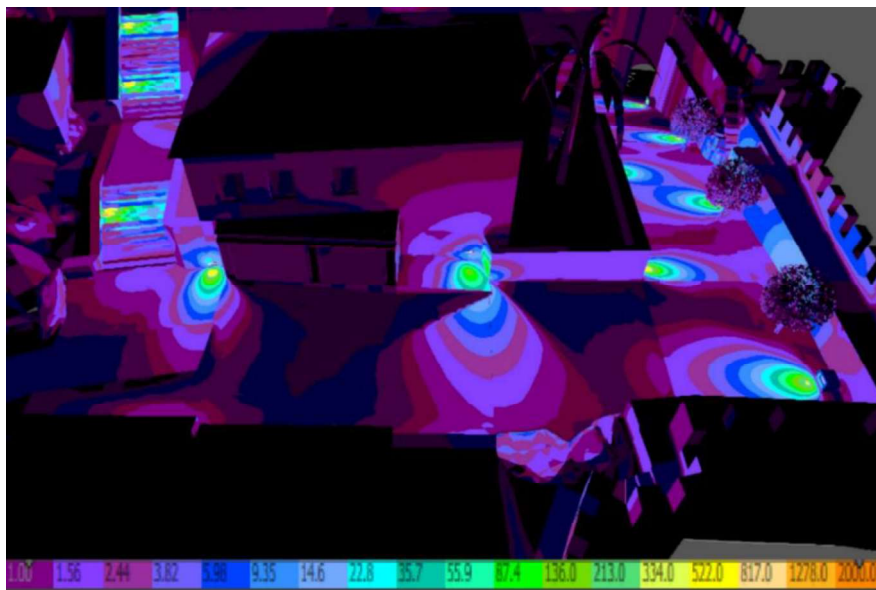


Figura 5.61. Diagrama de Cores falsas dos caminhos de circulação cenário 3, zona Norte (DialuxEvo, 2017)

5.4 Cenário 4: Iluminação LED com os pontos de luz existentes – diferentes fabricantes

Neste ponto foi feita uma pesquisa por luminárias de outros fabricantes de modo a reduzir o *Payback* do terceiro cenário, mas que também respeitasse as mesmas características técnicas das luminárias aqui selecionadas. Deste modo é possível obter os mesmos resultados luminotécnicos com um investimento inicial mais reduzido.

Neste caso, os resultados luminotécnicos simulados e de dimensionamento da instalação são iguais aos do terceiro cenário. É feita uma análise económica e energética com os dados das luminárias escolhidas de outros fabricantes.

No Anexo IV nas Folhas Nº 07 a 09 encontram-se as plantas 2D com as implementações necessárias do quarto cenário.

5.4.1 Luminárias e Lâmpadas Propostas

As principais características a respeitar na escolha das luminárias são: Potência [W]; cor da luz e índice de restituição de cor (3000 - 3500 K, IRC = 80, branco quente); Fluxo Luminoso [lm]; dimensões físicas e índices de proteção (IP65 e IK08);

As características Técnicas das luminárias selecionadas no terceiro cenário encontram-se no fim do Anexo IV – Cenário 3.

Na Tabela 5.11 encontram-se as luminárias dos diferentes fabricantes, sendo que as células com a cor verde dizem respeito às luminárias selecionadas para este ponto. Os fabricantes finais

selecionados dizem respeito à Schröder (Schröder, 2017), Tromilux dedicados a encastráveis LED (Tromilux, 2017) e a uma loja de venda *online* de iluminação LED (EfectoLed, 2017)

Tabela 5.11. Fabricantes e Luminárias selecionados, cenário 4

Schröder			Primelux			Quantidade
Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	
Trasso 1 14 W	Branco Quente	450				24
Enyo 5 W Superficial	Branco Quente	165				1
SculpFlood 60	Branco Quente	750	OSLO 50 W	Branco Quente	61,37	1
	Cor estática	750				1
SculpFlood 150	Branco Quente	1.350				2
	Cor estática	1.350				1
Terra Midi 21 W	Branco Quente	695	Solum 18 W	Branco Quente	211,56	10
Ponto 5 W	Branco Quente	120	Solum 6 W	Branco Quente	92,62	33
Tromilux			EfectoLed			Quantidade
Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	Modelo	Cor	Preço+IVA (€)	
Série 3064 12 W	Branco Quente	98,86				24
			Foco Superfi- cie 7 W	RGB	22,95	1
			LED Slim Pro 60 W	Branco Quente	79,95	1
			LED Elegance 50 W	RGB	69,95	1
			LED SMD 150 W	Branco Quente	124,95	2
						1
Série 3022 22 W	Branco Quente	183,1				10
Série 3014 5 W	Branco Quente	40,6	Foco encastrar solo 6 W	Branco Quente	39,95	33

5.4.2 Análise Energética e Económica

Devido à potência de algumas luminárias não serem exatamente iguais às inicialmente selecionadas, foi necessário efetuar uma análise energética de modo a termos o consumo anual do sistema e a respetiva redução de consumos. De acordo com as Equações 4.1 e 4.3, obtiveram-se os seguintes valores da instalação do cenário quatro, ver Tabela 5.12 na página seguinte.

A Tabela 5.13 é o resumo da anterior onde temos os custos, consumos e emissões de CO₂ anuais com a instalação do quarto cenário e ainda os mesmos valores relativos à iluminação atual de forma a serem comparados. Para este quadro foi utilizada a Equação 4.2.

Tabela 5.13. Tabela de Comparação dos Valores Anuais entre a Iluminação Atual e o cenário 4

	Potência Instalada [W]	Consumo Anual [kWh/ano]	Emissões de CO ₂ [tonCO ₂ /ano]	Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Atual	4.671	8.767,7	4,12	2.103,4
Iluminação Cenário 4	1.270	3.705,0	1,74	1.064,2

Os valores a reter encontram-se na Tabela 5.14 que dizem respeito às reduções possíveis quer de consumo quer de custos com a implementação deste cenário, quando comparados aos valores da iluminação existente.

Tabela 5.14. Reduções de Emissões, Consumos e Custos com a Iluminação do cenário 4

	Redução de Consumo Anual [kWh/ano]	Redução de CO ₂ Anual [tonCO ₂ /ano]	Redução de Custos Anuais [€/ano]
Iluminação Cenário 4	5.062,28	2,38	1.039

Todo o cálculo relativo à análise energética e económica do quarto cenário é discriminado no Anexo III – Cenário 4.

Em termos de avaliação económica o tempo de retorno do investimento inicial é de 9 anos com um investimento inicial de aproximadamente 8.580 €, sem contar com os custos de obra e com uma redução de custos de fatura anual de aproximadamente 1.039 €/ano.

A utilização de vários fabricantes permitiu reduzir o investimento inicial do projeto em quase 20.000 €. Neste caso é possível a recuperação total do investimento inicial do projeto antes de qualquer tipo de substituição das luminárias, mostrando-se como o cenário mais viável a nível económico.

Tabela 5.12. Consumo Mensal do Interior do Castelo com o cenário 4 diferentes fabricantes, por tipo de luminária

Tipo de luminária	Consumo Mensal [kWh]												Consumo anual por tipo de luminária [kWh]	Custo anual por tipo de luminária [€]
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Schröder Sculp Flood 60	27	24	27	18	18	18	18	18	18	18	26	27	257	43
Slim Pro 60 W	24	23	24	16	17	16	17	17	16	17	23	24	234	39
Efectoled SMW 150 W	121	112	121	81	84	81	84	84	81	84	117	121	1.171	194
Schröder Sculp Flood 150	66	6	66	44	46	44	46	46	44	46	64	66	640	106
Série 3022 22W Anfi	2							30				89	144	24
Série 3014 5 W Anfi.	19							22				65	108	18
Série 3064 12 W	116	108	116	78	80	78	80	80	78	80	112	116	1.124	186
Foco Superfície 7 W	2,8	2,6	2,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,7	2,8	27	5
Total													3.705	615

5.5. Comparação dos Cenários Propostos com a iluminação Atual

Neste ponto é feita uma análise dos resultados obtidos em termos de consumo e custos das tecnologias propostas com os mesmos dados da iluminação atual.

O objetivo principal do projeto foi reduzir o consumo de energia elétrica no sistema de iluminação interior do Castelo de Penela, no entanto, foi necessária a introdução de mais luminárias em determinados espaços, aumentando o consumo global do monumento. Uma vez que apenas foi utilizada a tecnologia inovadora LED, permitiu que mesmo aumentando o número de pontos de luz fosse possível uma redução de consumo.

De forma a comparar a viabilidade económica dos quatro cenários propostos, procedeu-se ao cálculo dos três indicadores económicos, que nos dizem se no mercado atual o projeto deve ser implementado ou não. Para o cálculo do Valor Atual Líquido (VAL) e da Taxa Interna de Retorno (TIR) foi necessário a utilização das seguintes equações:

$$VAL = -C0 + \sum_{j=1}^n \frac{cf}{(1+d)^j} \quad (5.3)$$

Cf - *Cash-flow* no período j;

C0 - Investimento no ano zero;

d - Taxa de atualização do capital para o mesmo período (considerada 2%, pessimista);

n - Vida útil do investimento, 15 anos.

$$TIR = -C0 + \sum_{j=1}^n \frac{cf}{(1+d^*)^j} \quad (5.4)$$

d - Taxa que aplicada na expressão anula o VAL

Na Tabela 5.15 é possível constatar os resultados energéticos e económicos dos quatro cenários propostos.

Tabela 5.15. Tabela de comparação dos indicadores energéticos e económicos dos Cenários Propostos

	Investimento Inicial [€]	Redução Consumo [kWh/ano]	Redução ton CO ₂ [tonCO ₂ /ano]	Redução Custos [€/ano]	Payback [anos]	VAL [+-]	TIR [%]
Cenário 1	39.546	3.548,7	1,67	728,49	55	-30.185,4	-12,98
Cenário 2	11.839,6	3.526,7	1,66	724,0	17	-2.537,5	-1,06
Cenário 3	27.722,0	4.756,7	2,24	976,43	29	-15.204,4	-7,10
Cenário 4	8.580,5	5.062,3	2,38	1.039,0	9	4.769,9	8,59

Na Figura 5.62 é possível observar o consumo mensal do Castelo com o sistema de iluminação interior de cada cenário, bem como da iluminação atual. Como referido anteriormente, nos meses de dezembro, janeiro e agosto o consumo do Castelo é maior devido às luminárias do Anfiteatro se encontrarem ligadas.

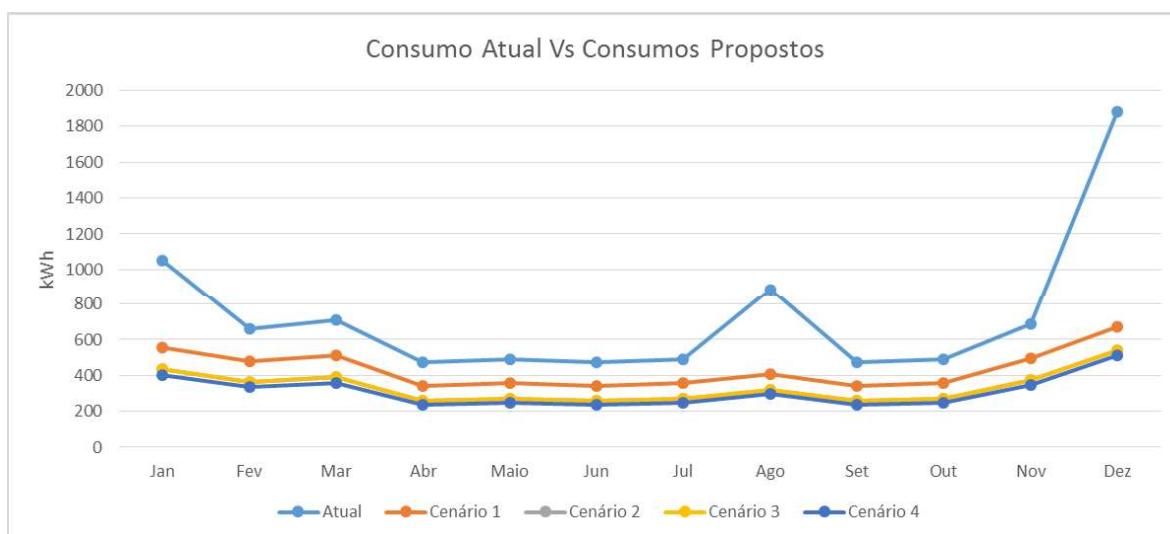


Figura 5.62. Consumos Mensais da iluminação atual e dos cenários propostos

Verifica-se que apenas o cenário 4, com a utilização de diferentes fabricantes, representa uma intervenção viável. Devido ao seu VAL apresentar sinal positivo, este parâmetro está diretamente relacionado com o valor da taxa de atualização do dinheiro, no projeto em causa foi utilizado uma taxa de 2 %. Constatou-se que apenas com a utilização de luminárias SCHREDER® o projeto não tem viabilidade, pois o VAL apresenta sinal negativo em ambos os casos, cenário 1 e 3.

O segundo indicador económico, designado de TIR diz se um projeto é economicamente viável ou não. O valor do TIR apresenta-se superior ao da taxa de atualização do dinheiro (2 %) no cenário 4, que nos permite concluir que esta proposta é economicamente viável e capaz de gerar uma taxa de retorno superior ao custo de oportunidade do capital.

No quarto cenário o utilizador terá um tempo de retorno de investimento (*Payback*) de 9 anos, este valor não tem em conta os custos de obra. No entanto, este cenário apresenta menores custos de manutenção devido a ser constituído por menos tipos de luminárias que o primeiro e segundo cenário. Para além disso o tempo de vida útil das luminárias selecionadas é superior aos 9 anos de retorno do investimento inicial, o que se representa um projeto viável.

No segundo cenário o utilizador terá um tempo de retorno de investimento de 17 anos sem custos de obra e manutenção, devido ao investimento inicial ser mais elevado. Esta medida poderá ser viável uma vez que não é garantido que ao 15º ano as luminárias deixem de funcionar, mas apresentam uma depreciação de fluxo em cerca de 10 %.

A utilização apenas da marca SCHREDER mostra-se economicamente não viável devido ao investimento inicial ser elevado. Caso não existisse nenhum défice de iluminação no Castelo este valor poderia ser muito menor. No entanto tem de se ter em conta as grandes melhorias apresentadas a nível de qualidade e uniformidade de iluminação no interior do Castelo. Para além disso a qualidade dos materiais que constituem as luminárias bem como a qualidade dos LEDS é superior a muitos outros fabricantes.

5.6 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados quatro casos de estudo possíveis para a nova iluminação do interior do Castelo de Penela, utilizando a tecnologia mais eficiente no campo da iluminação - o diodo emissor LED.

No primeiro e terceiro cenário o fabricante recai sobre a marca SCHREDER®, enquanto que no segundo e quarto cenário são utilizados vários fabricantes. Podem ser utilizadas luminárias idênticas ou semelhantes de outras marcas do mercado, desde que respeitem as características técnicas que se encontram no fim do Anexo IV.

Para os novos circuitos propostos, houve a necessidade de dimensioná-los, respeitando os critérios de dimensionamento e as RTIEBT.

Todo o dimensionamento é discriminado no ANEXO II e as plantas dos circuitos, tubagens e proteções a considerar encontram-se no ANEXO IV.

Relativamente às análises energéticas e económicas dos casos de estudo todo o cálculo é discriminado no ANEXO III.

No primeiro cenário o autor teve liberdade total para a criação de novos circuitos de iluminação embora se traduza em maiores custos de obra. Foi efetuada uma iluminação arquitetural e de embelezamento na Igreja paroquial e no Castelejo de modo a aumentar a afluência de visitas ao Castelo e uma iluminação pontual e localizada nos restantes circuitos, referentes aos caminhos pedonais e Anfiteatro.

No segundo cenário foi feita uma pesquisa por fabricantes de outro tipo de marcas de modo a reduzir o investimento inicial do primeiro caso. Foram reutilizados os resultados obtidos a nível de simulação e dimensionamento do primeiro cenário.

No terceiro cenário o autor teve em consideração o custo do total do projeto e tentou criar um sistema de iluminação que oferecesse na mesma uma boa qualidade de iluminação mas que apresente um menor investimento inicial. Para este efeito os circuitos propostos restringem-se aos pontos de luz existentes, reestruturando alguns dos circuitos e criando apenas um novo circuito para o Anfiteatro.

Num quarto cenário foi efetuada na mesma uma pesquisa por luminárias de outros fabricantes de forma a reduzir o investimento inicial do terceiro cenário.

Nas simulações apresentadas, é notável a melhoria na qualidade da iluminação bem como na quantidade da mesma, projetando assim um Castelo de Penela com níveis de iluminância normalizados e capaz de cativar o olhar a qualquer ser humano.

Em comparação com o sistema atual, é notório a grande melhoria que existe no ambiente interior do Castelo, proporcionando aos utilizadores sensações de conforto e bem-estar, levando a que estes se sintam seguros e que permaneçam durante mais tempo no espaço em questão.

O Castelo de Penela ficaria preparado para mais atividades noturnas durante todo o ano, o que levaria a um aumento de visitas no local.

6. CONCLUSÃO

6.1. Síntese do Trabalho e Conclusões Gerais

Inicialmente os objetivos principais deste projeto passavam por reduzir o valor da fatura energética, porém, através das várias deslocações feitas ao Castelo de Penela foi possível verificar défices de quantidade de iluminação em algumas zonas e exatamente o oposto no espaço do Anfiteatro.

As simulações da iluminação atual através do *software DialuxEvo*[®] mostraram que existiam défices de iluminação em várias zonas. Em alguns locais, o nível de iluminância era nulo ou praticamente nulo essencialmente nas zonas Norte e Este do Castelo, tendo na zona do Anfiteatro excesso de iluminação (DialuxEvo, 2017).

Posto isto, o objetivo no primeiro cenário passou por melhorar a qualidade de iluminação, projetando assim o Castelo de Penela com níveis de iluminância mais altos e normalizados e com maior uniformidade, obtendo assim um espaço bastante mais atrativo no período da noite do ponto de vista da iluminação com o intuito também de aumentar as visitas ao local.

As luminárias aqui utilizadas são um pouco dispendiosas devido a serem de uma marca de eleição, no entanto apresentam grande grau de estanquicidade e bom tempo de vida útil, o que pode não ser respeitado com luminárias de menor custo.

Os resultados obtidos no primeiro cenário foram satisfatórios, pois alcançou-se uma boa uniformidade e níveis de iluminância propostos. Além disso e apesar de se ter aumentado consideravelmente os pontos de luz existentes foi possível uma redução anual de faturação de aproximadamente 729 €.

Neste cenário houve a necessidade de criar dois novos ramais de forma a complementar a iluminação atual e ainda de aumentar os pontos de luz já existentes.

O tempo de retorno pode não justificar o grande investimento que é necessário. Porém, o aspeto que o interior do Castelo de Penela vai ter e as condições que pode oferecer, aumentando também as visitas ao mesmo, pode justificar uma renovação desta magnitude.

No segundo cenário e de forma ao cenário um não ser desprezado, foi feita uma pesquisa por luminárias mais económicas de outros fabricantes do mercado. Nesta fase foram reutilizados os resultados obtidos com a primeira simulação de forma a manter a qualidade e homogeneidade de iluminação do Castelo.

Neste caso, apenas as luminárias com tecnologia RGB do Castelejo foram mantidas, todas as outras foram substituídas por luminárias semelhantes mais económicas.

Assim, foi possível obter uma redução anual de faturação de 724 € e um tempo de retorno de 17 anos, valor bem mais aceitável que os 55 anos se apenas utilizássemos a marca SCHREDER. Apresentando-se como uma possível medida viável a nível de investimento.

No terceiro cenário pretendeu-se ter uma maior redução de custos energéticos mantendo a qualidade de iluminação. Para isto foi necessário restringir os pontos de luz aos atualmente

existentes, criando novos apenas onde fosse estritamente necessário de forma a cumprir os valores normalizados e prestar a segurança necessária aos utilizadores.

Foi apenas criado um ramal novo no Anfiteatro por este apresentar níveis de iluminância elevados e por ser dos locais onde se pode obter uma grande redução de consumo. Nos ramais já existentes apenas se adicionaram alguns pontos de luz de forma a cumprir valores normalizados nos caminhos de circulação.

Neste cenário foi possível obter uma redução anual de faturação de praticamente 1.000 €, valor que poderia ser maior se não existisse défice de iluminação no Castelo, e um tempo de retorno de 29 anos.

Por fim, foi realizado um quarto cenário seguindo o mesmo método do cenário dois, mas de forma reduzir os valores da segunda simulação (cenário 3).

Assim, foi possível obter uma redução anual de faturação de 1.039 € e um tempo de retorno de 9 anos, valor bem mais aceitável que os 29 anos se apenas utilizássemos a marca SCHRÉDER. Apresentando-se como a medida mais viável a nível de económico e de consumo.

Fica evidente, que o recurso a lâmpadas LED permitiu obter uma grande redução da potência instalada e uma boa redução da potência total consumida com a iluminação. Caso não existisse défice de iluminação, ou seja, se apenas tivéssemos de trocar as luminárias atuais por luminárias LED estes valores seriam ainda maiores.

No intuito de aderir ao uso da tecnologia LED principalmente no campo da iluminação, é que este projeto foi proposto. É praticamente certo que num futuro próximo, as lâmpadas LED vão estar a um preço bastante mais acessível, o que vai aumentar ainda mais a eficiência na área da iluminação.

6.2. Trabalhos Futuros

Na elaboração da análise energética atual, fica a ideia que o tarifário de energia utilizado não é o mais indicado. Sendo um sistema que funciona essencialmente nas horas noturnas faria sentido utilizar as tarifas de horas de vazio e super-vazio, o que não acontece no tarifário BTN atual. Propõe-se assim uma mudança de tarifário de energia para o Baixa Tensão Especial (BTE) com horas de super-vazio. As simulações efetuadas demonstram que com a utilização deste tarifário foi possível reduzir os custos de consumo do sistema, sendo os horários de funcionamento exatamente os mesmos.

Inicialmente idealizou-se a iluminação das ameias do Castelejo, no entanto, as luminárias utilizadas para este tipo de aplicação não têm um tempo de vida útil muito longo (dois anos). A iluminação das ameias seria uma vantagem no ponto de vista arquitetural do Castelo, pois iria oferecer uma melhor visualização dos contornos do Castelejo a longa distância.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE (2017). <http://www.adene.pt/iluminacao-publica>. Agência para a Energia, Iluminação Pública, Portugal, 2017
- ADENE (2017). <http://www.adene.pt/politica-energetica>. Agência para a Energia, Política Energética, Portugal, 2017
- ADENE (2017). <http://www.adene.pt/parceiro/eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica>. Agência para a Energia, Eficiência energética na iluminação Pública, Portugal, 2017
- Almeida, António Manuel Almeida e António Gomes Martins (2010) - *O RSECE e a Iluminação- Um contribuição para um novo regulamento*. Relatório de Investigação nº13 do Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores – INESC, Coimbra, ISSN: 1645-2631.
- Autocad (2016). <https://www.autodesk.pt/products> Software de desenho assistido por computador, versão Autocad 2016, Portugal
- CMP (2017). <http://www.cm-penela.pt/turismo/castelo.html>. Câmara Municipal de Penela (página internet oficial), Portugal.
- Del-Negro e Diana (2012) Actas da iluminação 2012, *Encontro Internacional, Iluminação em Monumentos e Zonas Históricas*. Mosteiro de Alcobaça – A iluminação exterior do património em contexto urbano: Uma reflexão sobre alguns aspetos fundamentais, pp. 27-28.
- DialuxEvo (2017). <https://www.dial.de/en/home/> Software para cálculo e análise Luminotécnica, Versão DialuxExo 7, Portugal
- EDP (2017) - <http://www.edpsu.pt/pt/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasdeBaixaTensaoNormal.aspx> Portugal.
- EfectoLed - <http://www.efectoled.com/pt/>. Loja online de iluminação LED, página oficial EfectoLed Espanha, 2017
- (EN 12464-2, 2006) - CEN – European Committee for Standardization, “EN12464-2: Light and Lighting – Lighting of Work Places – Part 2: Outdoor Work Places”, European Standard Ref. Nº EN 12464-2:2006, Bruxelas, Bélgica, Janeiro de 2006.
- (Geraldine, 2012) Actas da iluminação 2012, *Encontro Internacional, Iluminação em Monumentos e Zonas Históricas*. Mosteiro de Alcobaça – Lighting Design of Monunments and Historic Sites, pp.19-21.
- Philips (2016). <http://www.lighting.philips.pt/habitacao> Tabela Iluminação Profissional, Página oficial Philips Portugal
- Philips lighting (2017). <http://www.lighting.philips.pt/suporte/tabela-de-precos-2017>. Tabela de Iluminação Profissional – Philips Lighting Março de 2017, página Oficial Philips Lighing Portugal
- Primelux Portugal - <http://www.primeluxled.com/>. Catálogo de produtos – iluminação LED, página oficial Primelux Portugal, 2017

Raminhos F. (2012) - *Análise, Simulação e Projeto de Instalações Técnicas em Edifícios*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Politécnico de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

Raminhos F. M. M., Valdez, M.M. T. and Ferreira, C. M. (2013). *Aplicação de Programas de Modelação 3D na Análise do Cálculo Luminotécnico de Exteriores*. ICECE'2011 – VIII International Conference on Engineering and Computer Education, Angola.

RTIEBT (2006) - *Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, portaria n.º 949-A/2006, de 11 de Setembro, Portugal*

Schröder (2017). <http://www.schreder.com/pt-pt/produtos>. Catálogo Schröder Portugal – ILUMINATION, iluminação cénica, Portugal, 2017

Tromilux Portugal - <https://www.electrosiluz.pt/tromilux/>. Catálogo e Tabela PVP Outdoor 2017, página oficial Tromilux Portugal, 2017

Anexos

Devido ao grande número de tabelas e de cálculos para o dimensionamento da instalação e respetivas análises energéticas e económicas, optou-se pela colocação dos anexos num CD-ROM, à exceção do Anexo IV - Memória descritiva que se encontra impresso num caderno à parte

